



Examensarbete
Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Inventering av processvattenbalans

– Fastställande av fjärrvärmedistributionens läckage
inom Vattenfall Värme Uppsala AB

Inventory of process water balance
*– Determination of the leakage in Uppsala's district
heating net*

Anders Larsson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Anders Larsson

Inventering av processvattenbalans - Fastställande av fjärrvärmedistributionens läckage inom
Vattenfall Värme Uppsala AB
Inventory of process water balance - Determination of the leakage in Uppsala's district heating net

Handledare: Sven-Erik Olsson, Vattenfall Värme Uppsala AB
Ämnesgranskare: Tatjana Stern, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Bengt Hillring, institutionen för energi och teknik, SLU
EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad E, teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Examensarbete (Institutionen energi och teknik, SLU)
ISSN 1654-9392
2009:03

Uppsala 2009

Nyckelord: fjärrvärme, fjärrvärmeledningar, vattenläckage, dejonat, beräkningsmodell, läckagesökning,
inventering, vattenbalans, Uppsala, miljöbelastning

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

ABSTRACT

Inventering av processvattenbalans

- Fastställande av fjärrvärmedistributionens läckage inom Vattenfall Värme Uppsala AB

Inventory of process water balance

- Determination of the leakage in Uppsala's district heating net

Anders Larsson

Heat is distributed to the district heating customers through pipes with water as a heat carrier. The district heating system is complex. To decide what is leakages from the district heating net versus what is the water consumption of the plant, is difficult. Therefore, the purpose of this master thesis is to establish a model where the district heating net's leakages but also the water consumption of the plant can be followed daily. The project is performed at Vattenfall's district heating power plant in Uppsala. Information is gathered through discussions, drawings of the plant and guided tours of the plant. The result is a calculation model collecting data from 44 gauges listed in a database. The model automatically calculates the district heating net's leakages, the water consumption of the plant and information concerning the water balance. The model is divided in four categories to get it structured and clear. The daily updates make it possible to detect leakages in the district heating net earlier. Therefore water and money can be saved and the environmental impact can be decreased.

SAMMANFATTNING

Fjärrvärme distribueras till kunderna via ledningar med vatten som värmebärare. Utbyggnaden av fjärrvärmenätet startade 1961 och idag finns 420 kilometer fjärrvärmeledningar nedgrävda i marken. Korrosionen inuti ledningarna begränsas genom användning av avgasat och totalavsaltat vatten, så kallat dejonat. Yttre korrosion uppstår när vatten tränger igenom ledningens ytterhölje och kommer i kontakt med medieröret. Genomrostning av medieröret leder till läckage av fjärrvärmevatten. Fjärrvärmesystemet måste då spädmatas med dejonat för att fjärrvärmeleveranserna ska kunna fortgå.

Fjärrvärmesystemet är stort och komplext och att bestämma vad som är läckage från fjärrvärmeledningarna kontra vad som är verkets egenförbrukning är svårt. Därför är syftet med detta examensarbete att fastställa fjärrvärmenätets läckage samt verkets egenförbrukning samt att upprätta en beräkningsmodell där den mängd vatten som används kan följas dygnsvis.

Examensarbetet är utfört på Vattenfall Värme Uppsala AB och informationen som ligger till grund för denna rapport har införskaffats genom diskussioner, schemaläsning och rundvandringar i anläggningen. Resultatet är en beräkningsmodell som läser in mätdata från 44 mätare hämtade ur en databas och automatiskt räknar ut fjärrvärmenätets läckage, verkens egenförbrukning och annan information som används i en vattenbalans. För att göra modellen strukturerad och lättöverskådlig är den uppdelad i kategorierna tillförsel av fjärrvärmevatten, bortförsel av fjärrvärmevatten, volymskillnad i kärl och övriga vattenposter. Genom att fjärrvärmeläcket beräknas varje dygn kan stora läckage i fjärrvärmenätet upptäckas tidigare och resurser för läckagesökning kan sättas in. Läckage på fjärrvärmenätet kan då hittas tidigare och uppvärmt, avgasat och totalavsaltat vatten kan sparas. Därmed kan pengar sparas och miljöbelastningen minskas.

FÖRORD

Det här examensarbetet har utförts på uppdrag av Vattenfall Värme Uppsala AB. Arbetet har givit mig utökade kunskaper om produktion och distribution av värme, kyla och ånga. Att arbetet utförts på plats i Boländerna har gjort att jag träffat mycket personal och haft möjlighet att ställa många frågor. Bemötandet har alltid varit trevligt och hjälpsamt. Jag skulle därför vilja tacka alla som tagit sig tid och hjälpt mig.

Framför allt vill jag tacka min handledare Sven- Erik Olsson som varit en ypperlig handledare och som alltid haft humöret på topp. Jag vill även passa på att tacka Roland Hansson, Urban Gustafsson, Roland Forsberg, Anna Karlsson, Majid Mohammadi, Lars Bjelvenmark och Åke Andersson som varit mycket hjälpsamma.

Uppsala, mars 2009
Anders Larsson

Innehållsförteckning

ORDLISTA	1
1 INLEDNING	2
1.1 BAKGRUND	2
1.2 SYFTE OCH MÅL	3
1.3 AVGRÄNSNINGAR	3
2 METOD OCH VERKTYG	4
2.1 ACTIVEFACTORY	5
3 FJÄRRVÄRME	6
3.1 ALLMÄNT OM FJÄRRVÄRME	6
3.2 UPPVÄRMNING AV FASTIGHET	6
3.3 DISTRIBUTIONSNÄT I UPPSALA	7
3.4 KULVERTTYPER I UPPSALA	7
3.4.1 Betong	8
3.4.2 Asbest	8
3.4.3 Plast	9
3.4.4 Aquawarm	10
3.4.5 Ståltubsledningar	10
3.5 LÄCKAGESÖKNING	11
3.5.1 Värmekamera	11
3.5.2 Larmtråd	11
3.5.3 Vattenprov i kammare	11
3.5.4 Sektionering	11
3.5.5 Lokalisering av känt läckage	12
3.6 LAGNING AV LÄCKAGE	13
3.6.1 Slep	13
3.6.2 Skruv	13
4 VATTENFALLS ANLÄGGNINGAR I UPPSALA	14
4.1 KRAFTVÄRMEVERKET	14
4.2 AVFALLSFÖRBRÄNNINGEN	15
4.3 BOLANDSVERKET	17
4.5 HUSBYBORG	19
4.4 VÄRMEPUMPANLÄGGNINGEN	19
4.6 FASTBRÄNSLEHANTERINGEN	20
4.7 HETVATTENACKUMULATORN	21
4.8 TRYCKHÅLLNING	22
5 SYSTEMÖVERSIKT	23
5.1 TILLFÖRSEL AV VATTEN TILL FJÄRRVÄRMENÄTET	23
5.2 BORTFÖRSEL AV FJÄRRVÄRMEVATTEN FRÅN FJÄRRVÄRMENÄTET	24
5.3 KÄRL I KONTAKT MED FJÄRRVÄRMENÄTET	26
6 TIDIGARE BERÄKNINGAR AV NÄTLÄCKAGET	27
6.1 URBAN GUSTAFSSONS BERÄKNING AV NÄTLÄCKAGET	27
6.1.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet	27
6.1.2 Bortförsel av fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätet	28

6.1.3 Kär i kontakt med fjärrvärmenätet	28
6.1.4 Övriga vattenposter	29
6.2 ÅKE ANDERSSONS BERÄKNING AV NÄTLÄCKAGET	30
6.2.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet	30
6.2.2 Bortförsel av fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätet	30
6.2.3 Kär i kontakt med fjärrvärmenätet	30
6.2.4 Övriga vattenposter	31
7 DATA OCH BERÄKNINGAR	32
7.1 TILLFÖRSEL AV VATTEN TILL FJÄRRVÄRMENÄTET	32
7.1.1 Fyllning av expansionskär 1	32
7.1.2 Kondensat från kunder och ledningar	32
7.1.3 Fyllning från kraftvärmeverket	32
7.2 BORTFÖRSEL AV VATTEN FRÅN FJÄRRVÄRMENÄTET	33
7.2.1 Totalavsaltningfilter	33
7.2.2 Fyllning fjärrkyla	33
7.2.3 Husbyborg	33
7.2.4 Schablon	33
7.3 KÄR I KONTAKT MED FJÄRRVÄRMENÄTET	38
7.3.1 Hetvattenackumulator	38
7.3.2 Expansionskär 1	40
7.3.3 Expansionskär 2	40
7.3.4 Temperaturkompensering av fjärrvärmenätet	40
7.4 ÖVRIGA VATTENPOSTER	44
7.4.1. Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket	44
7.4.2 Dejonatproduktion i Block 5	44
7.4.3 Ångleverans	45
7.4.4 Direkt ånga	45
7.4.5 Verkens egenförbrukning	45
7.4.6 Fjärrvärmenätets läckage	45
8 RESULTAT	46
9 MÖJLIGA FELKÄLLOR	48
10 DISKUSSION	49
11 KÄLLFÖRTECKNING	51

ORDLISTA

AKS- nummer

Varje komponent har ett unikt nummer för att förhindra att missförstånd uppstår.

Avgasat vatten

I princip syrefritt vatten.

Dejonat

Totalavsaltat och avgasat vatten.

Inkompressibel

Densiteten är konstant.

Kondensat

Vätska som kondenserat från ånga kallas kondensat.

Matarvatten

Det vatten som ska in i pannan.

Pannvatten

Det vatten som finns i pannan i vätskeform.

Processdatabas

Den databas där all information från mätare och givare i anläggningen lagras.

Totalavsaltat vatten

Vatten renat från hårdhetsbildare, salter och övriga föroreningar.

Ureagranulat

Är ett urinämne som levereras i grynform och används till att reducera kväveoxider som bildas vid förbränning.

Volymutvidgningskoefficient

Beskriver hur volymen för ett ämne ändras vid en temperaturförändring.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vattenfall Värme Uppsala AB levererar värme, kyla, ånga och elektricitet till sina kunder. Produktionsanläggningarna består av fyra avfallsförbränningsanläggningar, ett kraftvärmeverk, åtta hetvattenpannor (varav sju eldas med olja och en eldas med torv), två elångpannor och en värmepumpanläggning.

Vattenfalls produktion av värme, ånga och kyla distribueras till kunderna i kulvertsystem av varierande typ och ålder. Utbyggnaden av Uppsalas fjärrvärmenät startade 1961, och många kulvertar från den tiden finns fortfarande kvar i drift.[1] Totalt finns cirka 420 kilometer fjärrvärmekulvert nedgrävt i marken.[2] Fjärrvärmeledningarna utsätts för stora påfrestningar och de ska klara av att ligga i marken i årtal. Störst påfrestning på ledningarna har yttre korrosion. Korrosionen inifrån begränsas genom användning av avgasat och totalavsaltat vatten, så kallat dejonat. Yttre korrosion uppstår när vatten tränger igenom ledningens ytterhölje och kommer i kontakt med medieröret. Genomrostning av ledningarna leder till läckage av fjärrvärmevatten. Fjärrvärmesystemet måste då spädmatas med dejonat för att fjärrvärmeleveranserna ska kunna fortgå. Fjärrvärmevatten används även till viss del av produktionsanläggningarna själva. Fjärrvärmesystemet är komplext och att bestämma exakt vad som är läckage från fjärrvärmeledningarna kontra vad som är verkets egenförbrukning är svårt.

Läckage av fjärrvärmevatten belastar miljön och är även ekonomiskt betungande för Vattenfall Värme Uppsala AB. Fjärrvärmevatten är uppvärmt vatten av hög kvalitet och det är därför värdefullt. 1 m³ fjärrvärmevatten beräknas vara värt 35 kr.[3] Brister i mätningar, beräkningar och rutiner av de vattenmängder som används gör att det finns en viss osäkerhet om storleken på fjärrvärmenätets läckage.

Därför är syftet med detta examensarbete att upprätta en beräkningsmodell där framförallt fjärrvärmenätets läckage men även verkets egenförbrukning kan följas dygnsvis. Om fjärrvärmeläckaget mäts dygnsvis kan stora läckage i fjärrvärmenätet upptäckas tidigare och resurser för läckagesökning kan sättas in. Läckage på fjärrvärmenätet kan då hittas tidigare och uppvärmt totalavsaltat vatten kan sparas och därmed kan belastningar på miljön och ekonomin minskas.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att genom en övergripande analys av vatten- och ångbalansen inom Vattenfall Värme Uppsala AB kunna bestämma fjärrvärmesystemets yttre läckage samt verkets egenförbrukning. En beräkningsmodell ska upprättas så att nätläckaget och verkets egenförbrukning kan följas dygnsvis.

Målsättningen med examensarbetet är att nya större läckage ska kunna upptäckas tidigare med hjälp av den framtagna beräkningsmodellen så att resurser för läckagesökning kan sättas in tidigare. En annan målsättning är att de anställda på Vattenfall Värme Uppsala AB ska ha tilltro till beräkningsmodellens resultat.

1.3 Avgränsningar

I och med syftet är examensarbetet redan i hög grad avgränsat till att endast innefatta Vattenfall Värme Uppsalas fjärrvärmesystem. Utöver detta avgränsas arbetet ifrån att ta upp mindre läckage som istället rymms inom en uppskattad schablon.

2 METOD OCH VERKTYG

Arbetet och huvuddelen av den information som ligger till grund för denna rapport har utförts och insamlats på Vattenfall Värme AB i Uppsala. En stor del av tiden har avsatts till att skaffa sig en överblicksbild av hur anläggningarna är sammankopplade och fungerar. Information har huvudsakligen erhållits genom diskussioner med personal men även genom att studera processscheman och att leta i arkiv. En beskrivning av tillvägagångssättet följer nedan.

1. *Teorigenomgång av anläggningarna*

Projektet startades med en teorigenomgång med handledaren Sven- Erik Olsson. Han förklarade hur anläggningarna fungerar samt hur de är sammankopplade. Arbetet med att studera anläggningarnas processscheman utfördes under hela arbetet.

2. *Rundvandringar på anläggningarna*

Rundvandringar med både Sven- Erik Olsson och Roland Hansson skapade en bild av hur anläggningarna är sammankopplade.

3. *Möten och intervjuer med personal*

Information har införskaffats genom diskussioner och möten med personal från berörda sektioner. När arbetet startade på Vattenfall Värme AB i Uppsala bildades en arbetsgrupp bestående av fyra personer. Gruppen bestod av mig, Sven- Erik Olsson, Roland Hansson och Roland Forsberg. Arbetsgruppen har kontinuerligt haft möten under arbetets gång.

4. *Tidigare beräkningar av fjärrvärmenätets läckage*

Två tidigare utförda beräkningar av fjärrvärmenätets läckage studerades för att se hur Urban Gustafsson och Åke Andersson har gått tillväga och vilka parametrar de använder sig av.

5. *Lära sig datorprogram*

Många mätare ute i anläggningarna är kopplade till en processdatabas. För att kunna göra en beräkningsmodell där nätläckaget kan följas dygnsvis måste mätvärden kunna läsas in från processdatabasen till Microsoft Excel. Detta kan göras med hjälp av ActiveFactory, se kapitel 2.1.

6. *Framtagning av beräkningsmodell*

Efter att ha fått kunskap om vilka parametrar som behövs samt hur data läses in i Microsoft Excel så börjades framtagandet av en första beräkningsmodell. Denna modell har utvecklats kontinuerligt under arbetets gång.

2.1 ActiveFactory

ActiveFactory är ett program som används för att kunna analysera och göra rapporter av mätvärden från databaser. De verktyg i ActiveFactory som har använts i arbetet är Trend samt ett tillägg till Microsoft Excel som gör det möjligt att läsa in mätvärden från en databas till ett kalkylblad. Trend är ett verktyg som framförallt används för att analysera grafer från historiska mätvärden. Det finns även funktioner så att mätvärden i realtid kan visas med olika uppdateringsintervall. ActiveFactory läser in värden från den så kallade processdatabasen. Drygt 16000 mätare är kopplade till processdatabasen och runt 450 miljöberäkningar utförs och lagras i realtid.[4] För att undvika missförstånd har varje mätare ett unikt AKS- nummer.

3 FJÄRRVÄRME

3.1 Allmänt om fjärrvärme

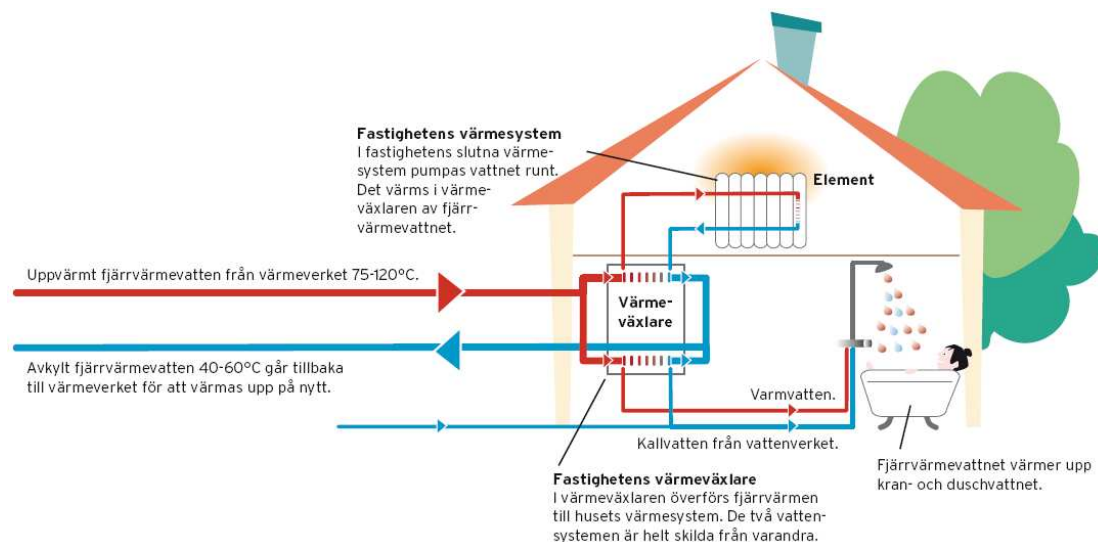
I och med det svenska klimatet finns det behov av en värmekälla som är enkel och tillförlitlig. Därför passar fjärrvärme bra i de svenska hemmen. Fjärrvärme är dessutom ett bra alternativ för miljön. Som hörs på namnet produceras värmen i fjärran och transporteras till kunderna via ett nätverk av ledningar. Dessa är oftast nedgrävda i marken. Fjärrvärmen distribueras till kundernas fjärrvärmecentral med vatten som värmebärare. För att vattnet ska flöda till kunderna så pumpas fjärrvärmevattnet vid produktionsanläggningen. I stora eller kuperade fjärrvärmenät måste extra tryckstegringspumpar placeras ute i nätet för att garantera leverans av fjärrvärme till kunderna längst ut på nätet.

Fördelen med en stor central panna jämfört med en liten panna i varje fastighet är att det finns mer resurser att satsa på avancerad teknik och det gör det möjligt att få en högre totalverkningsgrad på pannan. Dessutom kan pannan utrustas med en bra rökgasreningsanläggning. En annan fördel är att pannan övervakas dygnet runt av kompetent personal. Ett stort fjärrvärmeverk kan ha flera olika pannor som kan köras på olika bränslen. Därmed kan det bränsle som är billigast för stunden användas och det förbättrar ekonomin.

Idag står fjärrvärme för cirka 50 % av all uppvärmning av lokaler och bostäder i Sverige.[5]

3.2 Uppvärmning av fastighet

Uppvärmning av en fastighet går till som i Figur 1. Varmt fjärrvärmevatten leds fram till fastighetens fjärrvärmecentral. Där finns det två stycken värmeväxlare. Den ena är avsedd för fastighetens värmesystem och den andra är avsedd för fastighetens tappvarmvatten. Värmeväxlare är oftast av typen motströms plattvärmeväxlare och de är uppbyggda av flera tunna plattor med god värmeledningsförmåga. Fjärrvärmevattnet strömmar på den ena sidan av plattan och vattnet som ska värmas strömmar motströms på den andra sidan. Fastighetens värmesystem är ett slutet system som värms genom den överförda värmen i värmeväxlaren. Efter att fjärrvärmevattnet har överfört sin energi så förs det in i fjärrvärmenätets returledning. Där leds vattnet tillbaka till värmeverket och värms upp och skickas ut på nytt i nätet.



Figur 1. Uppvärmning av fastighet med fjärrvärme.[2]

3.3 Distributionsnät i Uppsala

I Uppsala började utbyggnaden av fjärrvärmenätet år 1961 och sedan dess har många förändringar skett.[1] Idag är fjärrvärmenätet cirka 420 km långt och är uppbyggt av olika typer av kulvert beroende på när det är byggt.[2] Nätet har en vattenvolym på cirka 21400 m³. [6] Runtom i nätet finns det 2100 betongkammare och dessa innehåller bland annat avstängningsventiler och kompensatorer som tar upp längdutvidgningen. Anslutningsgraden i de centrala delarna av Uppsala är 98 % och det är cirka 10500 kunder som är anslutna till fjärrvärmenätet, varav cirka 8000 är egnahems-kunder.[1]

I Uppsala finns det även ett ång- och fjärrkylanät. Utbyggnaden av ångnätet startade i början av 60-talet och idag är det 8 km långt.[1, 2] Den mättade ångan har trycket 14,3 bar och temperaturen cirka 200 °C. Kondensatet som bildas när ångan kondenserar på vägen till kunden (ledningskondensat) samlas upp av ångfällor och leds till kondensattankar hos kunden. Även det kondensat som bildas i kundens värmeväxlare förs till kondensattankar. Därifrån pumpas kondensatet in på fjärrvärmenätets framledning. Ånga används bland annat av sjukhus, läkemedelsindustri och för att torka spannmål.[1]

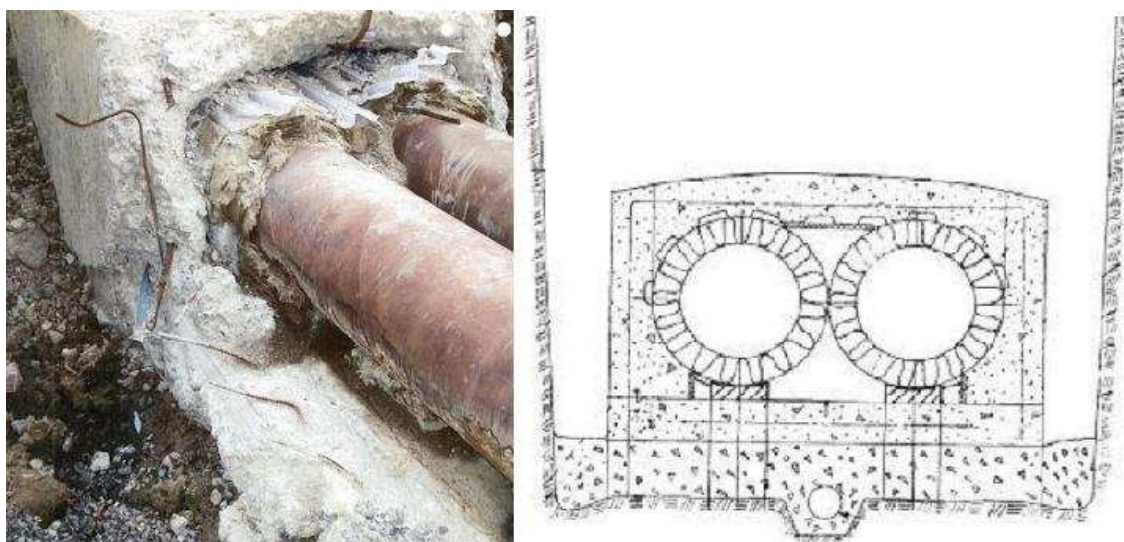
Fjärrkylanätet är 6 km långt, men det byggs för närvarande ut för att möta den ökade efterfrågan på fjärrkyla. Fördelar med fjärrkyla är framförallt att elanvändningen och utsläpp av köldmedia minskar. Dessutom undviks bullret från lokala kylmaskiner.[2]

3.4 Kulverttyper i Uppsala

I Uppsala finns olika kulverttyper beroende på var de används och framförallt när de är byggda. Störst inverkan på kulvertarnas skick är om ledningarna har legat torrt eller fuktigt och om ledningarna utsatts för skjuvkrafter vid sättningar i marken. Marken i Uppsala består mestadels av lera och det ökar risken för sättningar. Speciellt vanligt är det med sättningar i marken vid genomföringar i husväggar. Sättningarna kan medföra att ytterhöljet spricker eller skjuvas av, detta är ett vanligt problem på betong- och asbestcimentrörskulvert. När sprickor uppstår kan grund- och ytvatten tränga in i isoleringen runt medieröret. Detta medför att värmeförlusterna ökar och att korrosion uppstår.[3]

3.4.1 Betong

Betongkulvertar byggdes 1961-1979 enligt Uppsalamodellen, se Figur 2. Dessa kulvertar består av en betongplatta i botten. Ovanpå betongplattan ligger de mineralullsiserade stålrören ovanpå lecablock som är utplacerade med jämna mellanrum. Lecablock används för att bilda en luftspalt under rören. På rörens yttersida mellan betongplattan och stålrören ligger ohyvlat virke för att hindra betongen att tränga in under och mellan rören när den hälls över konstruktionen. Av samma anledning ligger det även ohyvlat virke och en korrigerad plastmatta som ett tak över rören. Nackdelar med denna typ av kulvert är att luftspalten i regel är för liten och blir då isoleringen blöt så torkar den väldigt långsamt. Ohyvlat virke ligger även an mot stålrören och trä är ett organiskt material som suger åt sig fukt och gör att stålet korroderar. En annan nackdel är att vatten lätt kan förflytta sig i betongkulverten.[3]



Figur 2. Betongkulvert enligt Uppsalamodellen. Bilden är redigerad av författaren.[3]

3.4.2 Asbest

Asbestcementrörskulvert byggdes mellan 1961-1980. De är konstruerade så att ett mineralullsiserat stålrör ligger inuti ett ytterrör av asbestcement, se Figur 3. För att röret ska ligga luftigt används rörstöd av stål. Asbestcementrörskulvert finns både som dubbelrör eller twin. Twin innebär att både fram- och returledningen är monterade i samma asbestcementrör. Vid stora läckage sköljs ofta isoleringen runt stålröret bort och värmeförlusterna blir då stora på dessa ställen. Nackdelen med asbestcementrör är att de är sköra och spricker lätt vid sättningar i marken, samt att vatten vid eventuell läcka kan förflytta sig långa sträckor i kulverten.[3]



Figur 3. Asbestcimentrörskulvert.[3]

3.4.3 Plast

Första generationens plaströrskulvert kom i början på 70- talet och dessa är av skiftande kvalitet. Vissa sträckor kommer därför att bytas ut i förtid. Moderna plaströrskulvertar förväntas ha en livslängd på cirka 100 år om de monteras korrekt. [3]



Figur 4. Plaströrskulvert under montering.[3]

PVC

Första typen av plaströrskulvert är byggd med liknande konstruktion som asbestcimentrörskulvert. Ytterhöljet består av PVC plast och medieröret är av stål med en polyuretanisolering emellan rören.[3] Nackdelen med denna typ av ledning är att polyuretanisoleringen inte tätar mot ytterhöljet och vatten kan därför transporteras långa sträckor i ledningarna.[7]

Pont a Mousson

Pont a Mousson är en fransk typ av plaströrskulvert där medieröret är av gjutjärn och isoleringen består av polyuretanskum. Problemen med denna kulverttyp är att sprödsprickor uppstår i fabrikssvetsarna mellan gjutgods och stål vid avstick. Sprickorna är väldigt svåra att svetsa med godtagbar kvalitet och de lagningar som gjorts kan därför snabbt börja läcka igen. Dessutom är alla reservdelar slut till ledningen, så övergång till annan kulvert kommer att behöva göras.[3]

Dagens plaströrskulvert

Dagens plaströrskulvert beräknas ha en livslängd på cirka 100 år, såvida monteringen utförts korrekt. Skulle ett läckage uppstå kan inte vattnet röra sig i ledningen någon längre sträcka. Endast den vattenskadade delen av ledningen behöver då bytas. Det har varit en del problem med dåligt utförda svets skarvar. För att minimera problemet utförs nu provtryckning eller röntgen av ledningen innan hålet grävs igen.[3]

3.4.4 Aquawarm

Aquawarm är en vanlig ledning som i huvudsak används i villaträdgårdar. Fördelen med denna typ av ledning är att den är böjbar. Ledningarnas ytterhölje består av korrugerad plast och medieröret är tillverkat av koppar. Som isolering används glasullsisolering.[3] *Figur 5* visar aquawarmledning under montering. Aquawarmledningar monteras som en sinuskurva med liten amplitud. Sinuskurvorna gör att ledningarna blir 3 % längre än om ledningen vore rak men fördelen är att aquawarmledningar har inbyggd expansionsupptagning. När värmen i vattnet överförs till kopparledningen så stiger temperaturen i kopparen och ledningen expanderar. Expansionen i kopparledningen tas upp genom att amplituden på sinusvågorna ökar. Det går till så att isoleringen komprimeras i ytterkurvan och expanderas i innerkurvan samtidigt som yttermanteln ligger still i marken.[8]



Figur 5. Aquawarmledning under montering.[3]

3.4.5 Ståltubsledningar

Ståltubsledningar är uppbyggda av mineralullsiserade medierör som är upphängda inuti en ytermantel av stålrör. Ytermanteln är behandlad med asfaltpapp eller liknande för att skydda mot yttre korrosion. Ståltubsledningar används oftast i större vägkorsningar för att tåla vibrationer från trafiken. När ytermanteln har rostat sönder så byts ledningen ut.[3]



Figur 6. Sönderrostad ytermantel på ståltubsledning.[3]

3.5 Läckagesökning

Läckagesökning görs idag kontinuerligt. Nedan följer olika metoder och utrusning för att spåra läckor samt hur man lokaliserar en känd läcka.

3.5.1 Värmekamera

Värmekamera används flitigt för att upptäcka läckage. Den fungerar bäst när det är stor temperaturskillnad mellan fjärrvärmevattnet och omgivande mark; alltså under vinterhalvåret under förutsättning att det inte ligger någon snö på marken. Sökning med värmekamera kan göras från bil. Värmekameran monteras då på biltaket och kan styras med en joystick under färden.[9]

3.5.2 Larmtråd

I dagens plaströrskulvert finns oisolerade koppartrådar ingjutna i isoleringen. Syftet är att kunna upptäcka och lokalisera läckage. När ny kulvert läggs ut mäts kopparledningens resistans då isoleringen är torr. Om läckage uppstår blir isoleringen blöt och då minskar det elektriska motståndet i kopparslingan, vilket kan upptäckas genom att mäta slingans resistans. För att lokalisera vart på ledningen som läckaget uppstått kan en pulsekometer användas. Den skickar ut en elektrisk puls i systemet. Pulsen reflekteras vid läckaget och registreras i instrumentet. Eftersom pulsens hastighet är känd kan läckagets position bestämmas.[10]

3.5.3 Vattenprov i kammare

Vattenprover kan tas i de 2100 kammare som finns runt om i nätet.[1] Vattenproverna skickas vidare till laboratoriet där de analyseras för att se om vattnet innehåller totalavsaltat vatten. Ibland tillsätts pyranin i fjärrvärmevattnet för att lättare kunna upptäcka läckage i fjärrvärmenätet och i trasiga värmeväxlare. Pyranin är ett fluorescerande grönt färgämne som blandas ut i fjärrvärmevattnet. Det räcker då att lyfta på brunnslock för att se om vattnet i kammaren är grönfärgat. Efter några månader när pyraninkoncentrationen är så låg att vattnet inte längre är grönt går det fortfarande att urskilja genom att lysa med en UV-lampa.[9]

3.5.4 Sektionering

Genom att stänga ventiler på ledningarna kan vattnet stängas in inom ett område med bibehållet tryck. Sedan är det bara att vänta och se om trycket sjunker. Sjunker trycket

finns det troligen ett läckage innanför avstängningarna. Det kan också vara en avstängningsventil som läcker men det brukar höras nere i kammaren. Nackdelen med denna metod är att kunderna blir utan värme under avstängningen.[9]

3.5.5 Lokalisering av känt läckage

För att veta vart grävmaskinen ska gräva måste läckagets exakta position bestämmas. Är läckaget stort kan det ses med värmekamera. Går inte det kan försök göras med hjälp av markmikrofon, korrelering eller rörål. Dessa tre metoder använder alla ljudet från läckaget som hjälp för att bestämma den exakta positionen. Ljudet från ett läckage består i huvudsak av dessa fyra ljud:

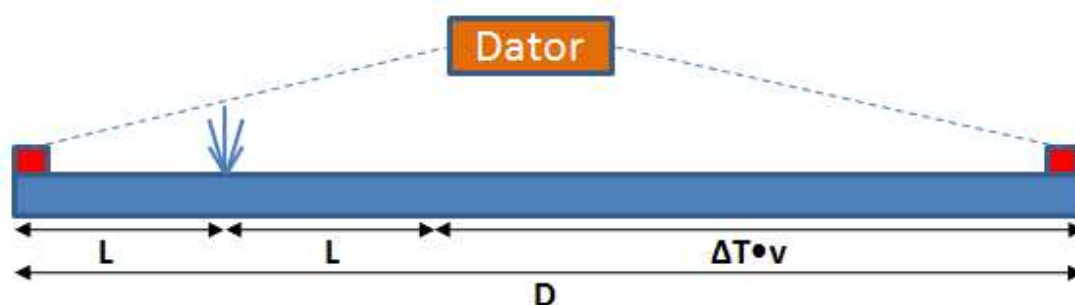
- Friktionsljud från vatten som trycks ut ur hålet i röret
- Vibrationsljud i röret
- Flödesljudet från vatten som flödar ut från läckaget
- Anslagsljudet när vattnet träffar marken runt röret[11]

Markmikrofon

Markmikrofon är en väldigt känslig mikrofon som hålls mot marken. Det går att ställa in inom vilket frekvensområde den ska registrera ljud. Ett läckage kan då höras genom ljuden från läckaget som transporteras genom marken. Eftersom markmikrofonen är så pass känslig fungerar den bäst under nattetid när trafiken är mindre.[9]

Korrelering

Ljudet från ett läckage transporterar sig i medieröret och ljudet är oregelbundet och varierar i styrka. Genom att montera två sensorer mot röret, en på varsin sida om läckaget, kan läckageljudet registreras. Signalerna från sensorerna skickas sedan till en dator. Korreleringen fungerar så att datorn räknar ut tidsskillnaden för ljudet att transportera sig till sensorerna. Det är då möjligt att bestämma läckagets position förutsatt att ljudets hastighet i röret är känt. Läckagets position kan beräknas enligt följande.[11]



Figur 7. Hur läckagets position kan bestämmas med hjälp av korrelering.[11]

När ljudet från läckaget når den första sensorn har ljudet transporterats sträckan L i båda riktningarna. Tidsskillnaden till att ljudet når den andra sensorn multiplicerat med ljudets hastighet i röret är den resterande sträckan. Sträckan D är avståndet mellan de bägge sensorerna. Den sökta storheten är längden L som är avståndet till läckaget. Genom sambandet mellan sträckorna kan L beräknas.[11]

$$2L + \Delta T \cdot v = D \quad \Leftrightarrow \quad L = \frac{(D - \Delta T \cdot v)}{2} \quad (1)$$

Ljudhastigheten v i röret är beroende av både rörets material och dimension.[11]

Rörål

Rörål är som namnet antyder ett rör som ålar sig fram mellan rören i betongkulverten. Den består av ett 75 m långt PEX-rör, där en termometer och mikrofon är kopplad till metallspetsen längst fram. Från en kammare förs den in i kulvert av typ Uppsalamodellen. Både temperatur och ljudnivå stiger när den närmar sig läckaget. Nackdelen med rörålen är att den lätt fastnar i rörstöd, isolering och annat bråte som ramlat ner på betongplattan.[9]

3.6 Lagning av läckage

När ett läckage upptäcks görs först en temporär lagning för att stoppa läckaget. Det kan göras utan att ledningen tas ur drift, såvida läckaget inte är för stort. Därefter planeras reparation alternativt byte av trasig kulvert. Ledningen tas då ur drift och töms på vatten. När reparation/byte är avklarad fylls ledningen upp och avluftas innan den tas i drift. Temporär lagning görs vanligtvis med svep eller skruv.[3]

3.6.1 Svep

För att snabbt stoppa ett läckage sätts ett svep runt ledningen där det läcker. Ett svep är ett stålförband som dras åt med bultar. Under stålförbandet finns en gummimatta som tätar mot ledningen.[3]



Figur 8. Temporär lagning av läckage med svep.[3]

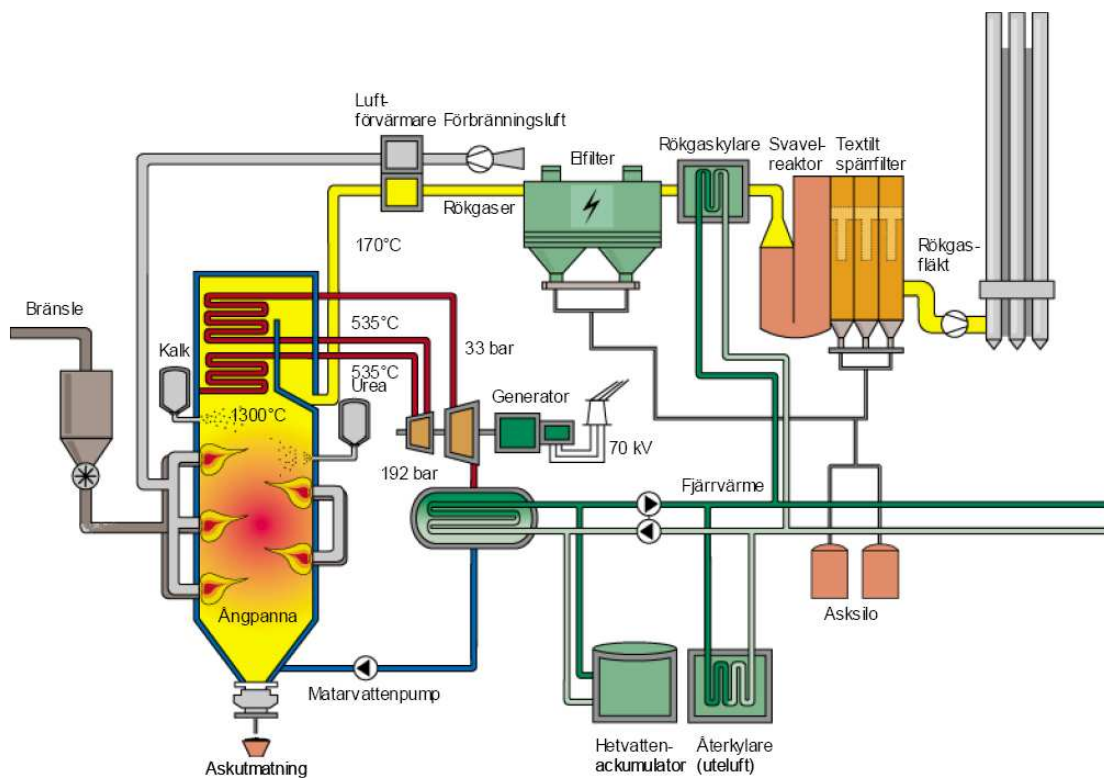
3.6.2 Skruv

Om hålet i ledningen är ett runt hål kan det fungera att dra in en skruv för att stoppa/reducera läckaget. Det förutsätter att stålet runt hålet är tillräckligt friskt för att skruven ska fästa.[3]

4 VATTENFALLS ANLÄGGNINGAR I UPPSALA

4.1 Kraftvärmeverket

Kraftvärmeverket (KVV) i Uppsala togs i drift 1973 och producerar både värme och elektricitet. När det byggdes var det enbart oljeeldat och hade en produktionskapacitet på 330 MW värme och 198 MW elektricitet. För att minska oljeberoendet byggdes pannan om 1985 för att även kunna elda pulverbränslen. Effekten reducerades då till 250 MW värme och 120 MW elektricitet. Innan torveldningen kom igång eldades kraftvärmeverket med kol.[12] Torv har varit huvudbränslet sedan 1989 när torvfabriken i Härjedalen togs i drift. [12, 13] Idag blandas torven med en del trädbränsle och när anläggningen går på fullast förbränns cirka 80 ton torv och träspån per timme.[14, 15]. Tändning av pannan görs med lättolja, annars används olja och kol endast som reservbränslen.[12] Kraftvärmeverket har en totalverkningsgrad på cirka 93 %.[14]



Figur 9: Schematisk bild av kraftvärmeverket. Katalysatorn som installerades 2005 för NO_x -reduktion är monterad före luftförvärmaren men den saknas dock i denna bild.[12]

I kraftvärmeverkets panna finns 13 brännare installerade på både front- och bakvägg, så kallad boxereldning. Nio brännare är placerade på frontväggen och fyra på bakväggen. Pulverbrännarna är även anpassade för att klara av oljeeldning.[12]

Kraftvärmeverkets panna är 40 meter hög och dess volym är 2000 m^3 . Pannan är en genomströmningspanna och saknar ångdom. Vattnets transport genom kraftvärmeverket börjar med att vatten pumpas från matarvattentanken via förvärmare till panntuberna i pannan. I panntuberna förångas vattnet och ångan leds in till en överhettare där ångan överhettas. Därefter leds ångan igenom högtrycksturbinen; ångan utför ett arbete över turbinen och tappar då tryck och temperatur. Ångan leds tillbaka in i pannan till mellanöverhettaren för att värmas på igen. Den nu

mellanöverhettade ångan leds in i mellantryckturbinen och sedan till två kondensorer. I kondensorererna växlas värme till fjärrvärmenätet. Det får ångan att kondensera och kondensatet samlas upp i en kondensattank för att därefter pumpas tillbaka till matarvattentanken. De bägge turbinerna driver en generator som alstrar elektricitet.[12]

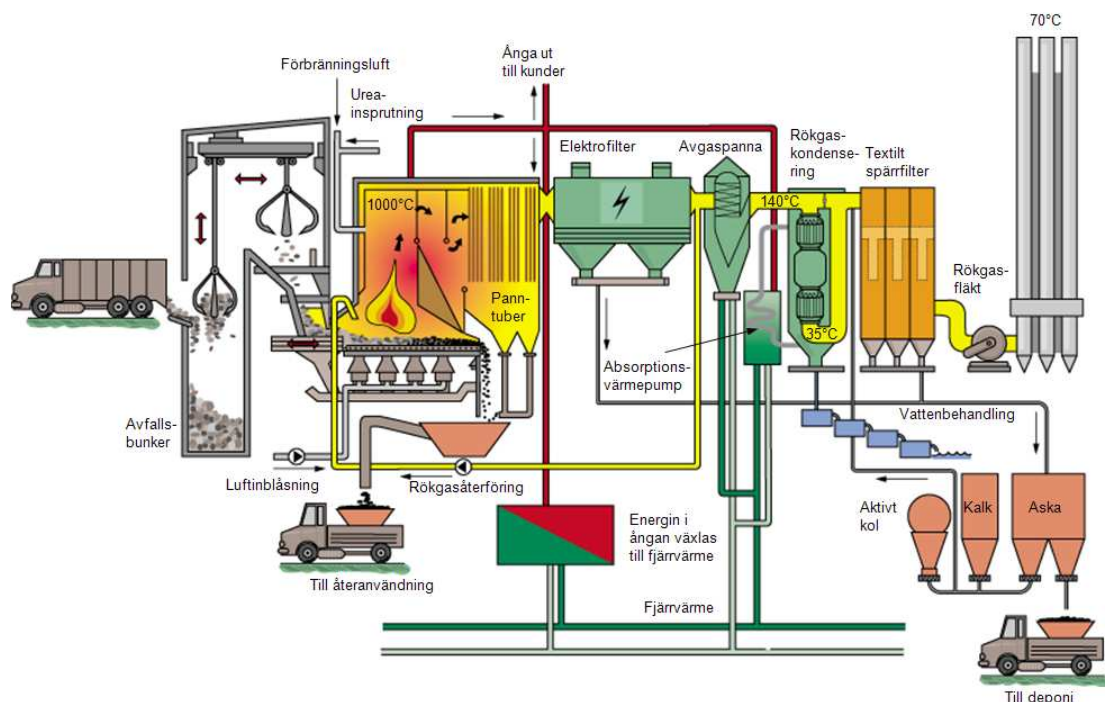
De reningsåtgärder av rökgasen som finns är svavel- och kvävereduktion samt stoftavskiljning. Det första steget i svavelreduktionen sker inne i pannan. Kalk sprutas in i pannan och reagerar med svaveldioxid (SO_2) i rökgaserna. Även det första steget i kvävereduktionen sker inne i pannan. Urea sprutas in i pannan med hjälp av lansar och reagerar där med kväveoxider (NO_x) och bildar kvävgas (N_2) och vatten (H_2O). Ureainsprutning fungerar bra vid låg- och medellast. Vid höglast doseras ammoniak istället. Det finns även en katalysator installerad efter pannutloppet som ytterligare reducerar utsläpp av kväveoxider.[12]

Första steget i stoftavskiljningen sker i elfiltret, där avskiljs de grövre stoftpartiklarna. Elfiltret är uppbyggt av flera parallella plåtar. Plåtarna fungerar som elektroder, där emissionselektroden är negativt laddad och utfällningselektroden är positivt laddad. Elektrodena hålls laddade av högspänd likström. När stoftpartiklarna i rökgaserna passerar elektrodena blir de negativt laddade och fastnar på den positiva utfällningselektroden.[16] Ett slagverk skakar till plåtarna så att stoftet släpper och faller ner i stoftsändare. Därifrån transporteras stoftet med tryckluft antingen till en recirkulationssilo för att användas i MDI- anläggningen (MDI, Moist Dust Injection) eller direkt till asksilon. Nästa steg i stoftavskiljningen är slangfiltret som även stoppar upp de mindre partiklar som passerat förbi elfiltret. Före slangfiltret finns en MDI- anläggning med tillhörande svavelreaktor. Stoft från recirkulationssilon, kalk och vatten blåses in i svavelreaktorn. Där absorberas svaveldioxiden av kalken och fastnar sedan på slangfiltret. För att ta tillvara på den värme som finns i rökgaserna sitter en rökgaskylare mellan el- och slangfiltret. Rökgaserna kyls från 175°C till 130°C och värmen växlas till fjärrvärmenätet.[12]

4.2 Avfallsförbränningen

Avfallsförbränningens bränsle består av sorterat, brännbart hushålls- och industriavfall. Vid förbränningen omvandlas avfall till värme och värmen används för att producera ånga och fjärrvärme. Avfallsförbränningen består av en äldre och en nyare del. Den äldre delen består av tre pannor, Block 1, 3, och 4. Block 3 är den äldsta av de tre pannorna och den byggdes 1971 av Bruun & Sörensen. Block 1 och 4 byggdes 1983 respektive 1982 av Widmer och Ernst.[17] Dessa tre pannor har en sammanlagd effekt om 98 MW och det motsvarar förbränning av 33 ton avfall per timme.[18]

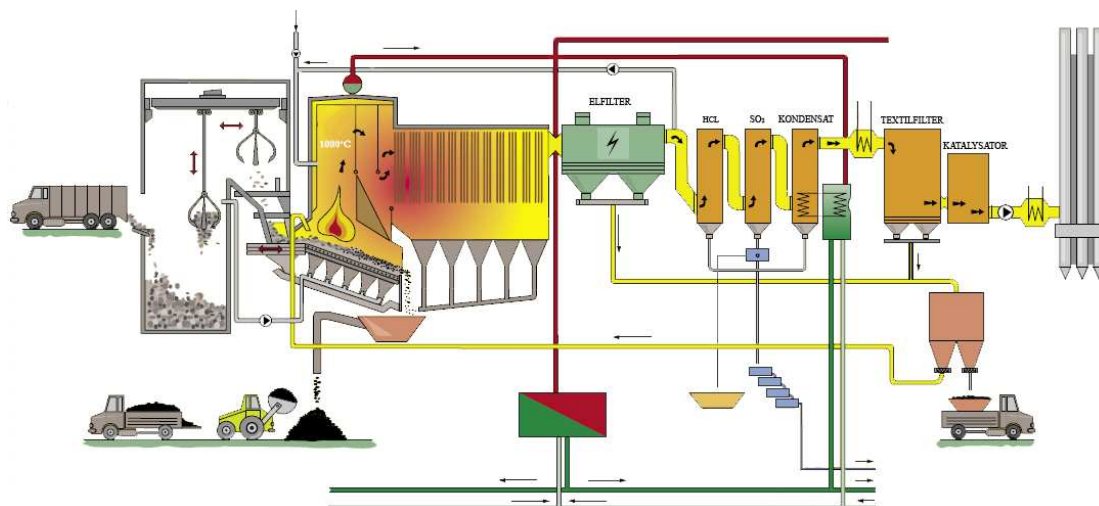
Rökgasreningen består av elfilter, rökgaskondensering och slangfilter. Den lågvärdiga värme som bildas i rökgaskondenseringen tas tillvara och överförs till fjärrvärmenätet med hjälp av absorptionsvärmepumpar. För reduktion av kväveoxider som bildas vid förbränningen används ureainsprutning i alla tre pannorna. Avfallsförbränningens äldre pannor ser ut som i *Figur 10*. [17]



Figur 10. Schematisk bild över den äldre avfallsförbränningen.[19]

Avfallsförbränningens nyare del kallas Block 5 och den togs i drift under 2005. Block 5 har en effekt om 75 MW och det motsvarar förbränning av 22 ton avfall per timme. Kostnaden för att bygga Block 5 uppgick till cirka 1 miljard kronor, varav rökgasreningsanläggningens kostnad uppgick till en tredjedel av den totala kostnaden. [18]

Ugnen har en lutande vattenkyld roster med en yta på 94 m². Förbränningsluften tas från avfallsbunkern och blåses in under rostern. Ångproduktionen sker i de panntuber som omges av heta rökgaser. Efter panntuberna kommer rökgasreningsanläggningens första steg som är ett elektrofilter där flygaska avskiljs. Nästa steg är tre olika skrubbar. I den första skrubbern tas klorväte bort, i den andra tas svaveldioxid bort och i den tredje skrubbern kondenseras vattenångan i rökgaserna. Den värme som bildas när vattenångan kondenserar överförs till fjärrvärmenätet med hjälp av absorptionsvärmepumpar. Efter rökgaskondenseringen kommer ett textiltfilter som tar bort de kvarvarande partiklarna i rökgasen. Sista steget i rökgasreningen är en katalysator som reducerar kväveoxider. I Figur 11 visas en schematisk bild över Block 5.[18]



Figur 11. Schematisk bild över Block 5. Bilden är modifierad av författaren.[18]

4.3 Bolandsverket

Byggandet av Bolandsverket startade 1965 på grund av den stora utbyggnaden av fjärrvärmenätet samtidigt som befolkningen i Uppsala ökade. Det har sedan dess byggts ut etappvis för att möta den ökade efterfrågan på fjärrvärme och ånga. Idag är Bolandsverket främst en topp-, skarv- och reservanläggning till avfallsförbränningen och kraftvärmeverket. Verket består av följande pannor.

Tabell 1: *Bolandsverkets pannor och deras effekt.*[20]

Hetvattenpannor	Antal	Effekt [MW]
Kombinerad olje-/fastbränsleeldad panna	1	160/100
Oljepannor	4	75/st
Ångpannor	Antal	Effekt [MW]
El- ångpannor	2	10 och 50

Det uppvärmda fjärrvärmevattnet som lämnar hetvattenpannorna går in på ledningen som kallas heta skenan. Vattnet där har en temperatur på cirka 145°C. För att det utgående fjärrvärmevattnet ska hålla rätt temperatur så blandas kallt vatten från fjärrvärmens returledning med det varma vattnet från heta skenan. Uppblandningen sker med två shuntgrupper, en på norr- och en på västerledningen.[20]

Etapp 1

Den kombinerade olje- och fastbränsleeldade pannan, även kallad HVC, är tillverkad av B&W. Den togs i drift 1985 och är den nyaste pannan på Bolandsverket. Pannan är klassificerad som en hetvattenpanna men den har ändå en ångdom som förser pannans egenförbrukning av ånga. HVC- pannan använder sig av boxereldning, detta betyder att de fem brännarna är placerade på både för- och bakvägg. Pannan eldas i huvudsak med torv- och träpulver. För att minska miljöbelastningen reduceras halterna av svavel- och kväveoxider genom att spruta in kalk och urea i eldstaden. För att reducera stoftpartiklar används både el- och slangfilter. HVC- pannan är den enda hetvattenpannan på Bolandsverket som inte är direktkopplad till. Värmen i det varma pannvattnet växlas över till fjärrvärmenätet med en värmeväxlare.[20]

Etapp 2

I etapp 2 finns två övertryckseldade oljepannor med toppmonterade oljebrännare. De är identiska och är tillverkade av Svenska Maskinverken. Effekten är på 75 MW

vardera och pannorna är direktkopplade till fjärrvärmenätet. De eldas med eldningsolja 5, vilken förvärms till 125°C innan den sprutas in i eldstaden. [20] Rökgasreningen är gammalmodig och består endast av en paraclon som avskiljer sotpartiklar.[9]

Ettapp 3

Även denna etapp består av två oljepannor med en effekt om 75 MW vardera. Pannorna är identiska och är tillverkade av Sulzer. Konstruktion är kompakt och den ena panna är monterad ovanför den andra. Varje panna har fyra oljebrännare som är monterade på pannfronten. Pannorna tänds med acetylgas och de går fort att starta upp. Precis som för pannorna i etapp 2 förvärms eldningsoljan till 125°C innan den sprutas in i eldstaden. Sulzerpannorna saknar helt rökgasrening och de är direktkopplade till fjärrvärmenätet.[20]



Figur 12. De två Sulzerpannorna.[20]

Ettapp 4

År 1982 installerades två elångpannor med effekter på 10 respektive 50 MW_{el}. Den lilla 10 MW elpannan drivs från ett 10 kV nät och den större 50 MW elpanna drivs från ett 15,75 kV nät. Elångpannorna används främst för att säkra tillgången på ånga vid driftstörningar på avfallsförbränningen, men de kan även användas för att värma fjärrvärmevattnet via värmeväxlare.[20]



Figur 13. En elångpanna.[20]

4.5 Husbyborg

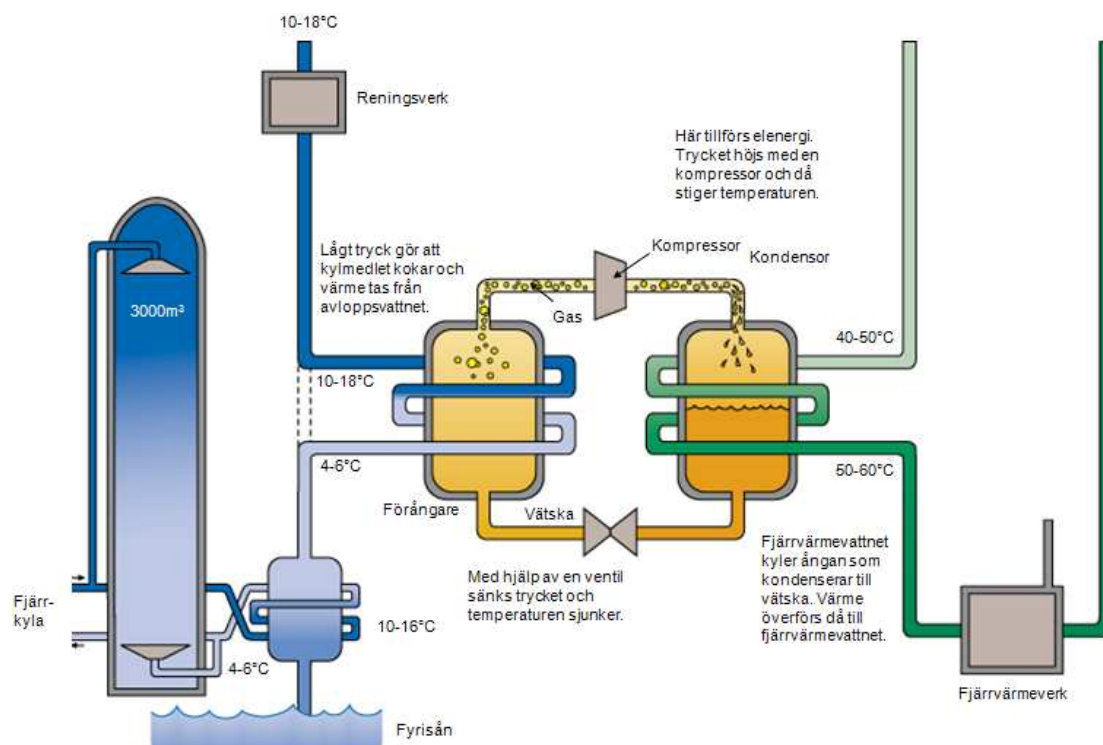
Värmeproduktionsanläggningen i Husbyborg togs i drift 1975 och är en spets- och reservanläggning som är lokaliserat i nordöstra Uppsala[12]. Anläggningen består av tre identiska oljeeldade hetvattenpannor med dom från Högfors, en oljetank samt två fjärrvärmedistributionspumpar. Pannorna är toppeldade övertryckspannor som eldas med eldningsolja 5. Pannorna överför värme till fjärrvärmenätet via varsin värmeväxlare och de har en sammanlagd effekt om cirka 140 MW.[21]

Två pressluftsbrännare är monterade i toppen på varje panna. Förbränningsluften tas direkt utifrån och sakar således förvärmning. Förbränningsluften fördelas som primär- och sekundärluft med förhållandet 15 % respektive 85 %. Primärluften tillförs med hög hastighet tillsammans med oljan för att den ska finfördelas ordentligt. Sekundärluften tillförs vid brännarens undre kant. Tändningen av pannan sker med hjälp av en gaselektronisk brännare. Den använder gasol som bränsle. När pannan är tänd kopplas gasolen ifrån. För att inte beläggningar ska fastna på pannornas innerväggar så sotas de kontinuerligt. Det görs med hjälp av de fem ångsotblåsare som finns i varje panna. De utnyttjar den ånga som bildas i ångdomen. Pannorna saknar rökgasrening och rökgaserna går ut till omgivningen via de 40 meter höga skorstenarna.[21]

4.4 Värmepumpanläggningen

Byggnationen av värmepumpanläggningen i Kungsängen startades i början av 1980-talet. Den består av tre värmepumpar med en värmeeffekt om 13- 17 MW vardera.[22] Två av värmepumparna kan växlas mellan värme- och kyl drift medans den tredje byggdes om 1997 för att enbart kunna köras i kyl drift.[23]

Värmepumparna är väldigt effektiva. Av en del elenergi fås cirka tre delar värme och två delar kyla.[22] Vid värmedrift är det värmen som är önskvärd och då tas inte kylan tillvara. Vid kyl drift är det kylan som är önskvärd men då tas det hand om både värmen och kylan.[23] I *Figur 14* visas hur en värmepump fungerar.



Figur 14. Schematisk bild av en värmepump.[22]

Värmepumpanläggningen ligger i anslutning till Uppsala kommuns reningsverk. I reningsverket renas avloppsvattnet mekaniskt, kemiskt och biologiskt i flera steg. Spillvattnet har en temperatur på cirka 12 °C. Vid värmedrift pumpas spillvatten från reningsverket till värmepumpanläggningen för att ta tillvara på den lågvärdiga energin i spillvattnet. Värmepumparna omvandlar den lågvärdiga energin i spillvattnet till högvärdig energi som överförs till fjärrvärmenätet. Kvar blir ett kallt spillvatten som körs till Fyrisån.[22]

Vid kyl drift går fjärrkylanätets returledning direkt in i värmepumpens förångare där fjärrkylavattnets temperatur sänks. Den bortförda värmen från fjärrkylanätet överförs till fjärrvärmenätet.[22]

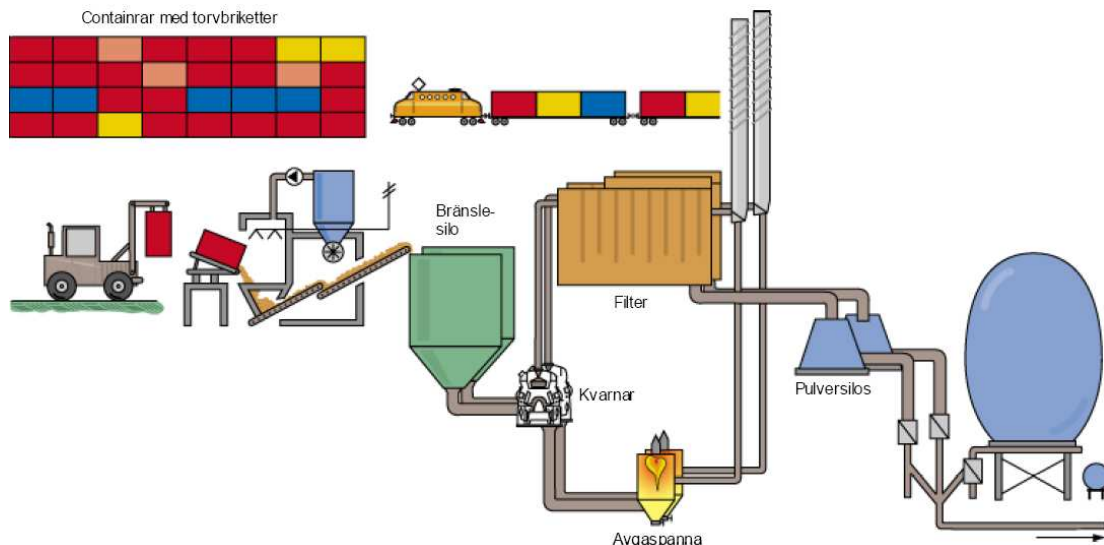
Värmepumparna använder kylmediet R134a som inte bryter ner ozonskiktet. Det producerade kallvattnet kan lagras i en 33 meter hög kylackumulator som har en vattenvolym på 3000 m³. [22]

4.6 Fastbränslehanteringen

De fasta bränslen som hanteras är framförallt torv med varierande inblandning av sågspån. Bränslet lagras i containrar som rymmer cirka 20 ton vardera. Containerarna transporteras mellan bränslelagret och bränsleberedningen med containertruckar. En schematisk bild över hur fastbränslehanteringen går till kan ses i Figur 15.[12]

Bränsleberedningen består av två identiska kvarnlinjer som vardera kan hantera 50 ton torv per timme. Torv- och träbriketterna transporteras med transportband från lastfickan till bränslesilon. Därifrån matas bränslet fram med lamellmatare till en kross som slår sönder briketterna till mindre bitar. Innan bränslet kommer till kvarnen så faller det ner via en slussmatare, den ser till att luft inte tränger in i det inerta

systemet. Väl inne i kvarnen mals bränslet mellan malbordet och valsarna. Efter kvarnen tillförs den varma och inerta rökgasen från hetgasgeneratoren.[12]



Figur 15. Schematisk bild över fastbränslehanteringen.[12]

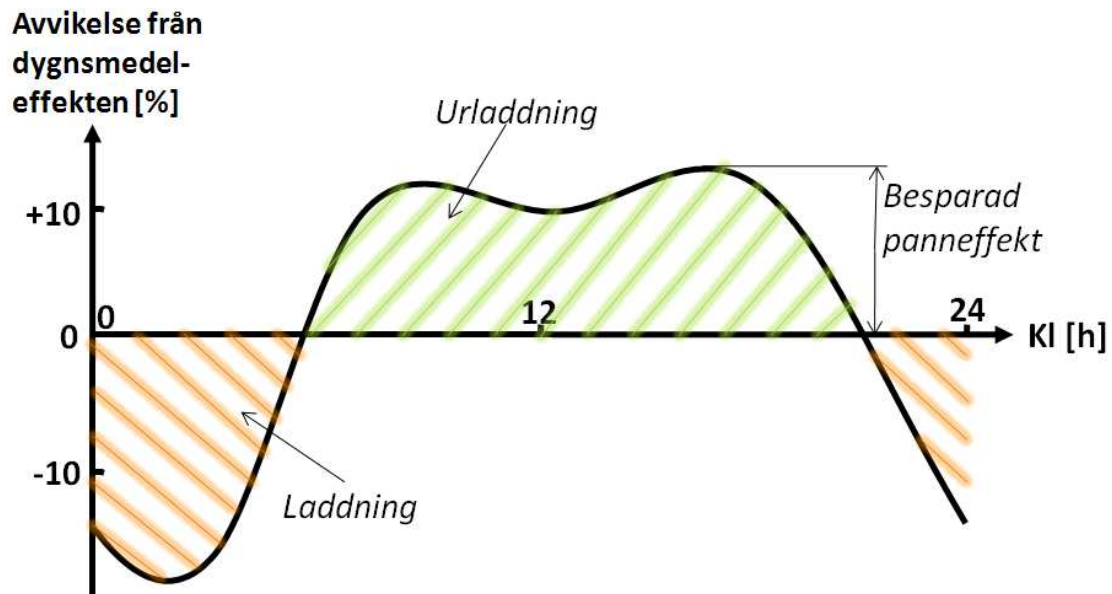
Hetgasgeneratoren är en liten panna som eldas med eldningsolja 1. Rökgaserna från den används för att torka pulvret och göra processen inert. Det är viktigt att O_2 -halten i systemet håller sig under 12 % för att förebygga brand och explosionsrisker.[12]

De heta rökgaserna blandar sig med det finmalda bränslet och för det vidare till slangfiltret. Där separeras bränslet från rökgasen och pulvret matas vidare till pulversilon via skruvar och slussmatare.[12]

Det färdiga bränslepulvret transporteras sedan den 200 meter långa sträckan till doseringsanläggningen. Transporten sker i en rörledning med hjälp av transportluft från en kompressor. Doseringsanläggningen försörjer sedan kraftvärmeverket och den fastbränsleeldade hetvattenpannan med bränsle. Inom anläggningen finns också en större pulversilo för att kunna transportera färdigt bränslepulver via järnväg.[12]

4.7 Hetvattenackumulatorn

Beslutet om att bygga en hetvattenackumulator i Uppsala togs 1977. Alternativen var att installera hetvattenpannor men en effekt på cirka 70 MW eller att bygga en hetvattenackumulator. Valet blev en ackumulator för att det var billigare, men även för att det gav en rad andra fördelar. Vid störningar inom värmeproduktionen kan ackumulatorn snabbt ersätta hela eller delar av produktionsbortfallet, förutsatt att ackumulatorn inte är helt urladdad. De dagliga variationerna i värmebehovet kan utjämnas och därmed kan produktionsanläggningarna köras på en jämnare last och start och stopp av topplastpannor kan därmed undvikas. Det behövs heller inte samma effektreserv, då energi lagras i ackumulatorn när effektbehovet är lägre och tas från ackumulatorn när effektbehovet är högre, se Figur 16. Ackumulatorn har en vattenvolym på cirka 30000 m³ och fungerar som en stor vattenreserv. Om ett stort läckage skulle uppstå på fjärrvärmenätet kan det spädmatas från ackumulatorn. Fjärrvärmeleveranserna kan då fortsätta störningsfritt.[24]



Figur 16. Hur hetvattenackumulatören kan utjämna värmebehovets dagliga variationer.

Vid i- och urladdning av energi i ackumulatören tas vatten genom två stycken dysor, en är fastmonterad på botten och den andra hålls flytande på samma nivå under vattenytan med hjälp av pontoner. Dysorna är utformade för att minska vattnets in- och utströmningshastighet. Det medför att turbulensen minskar och därmed även omblandningen mellan temperaturskikten. Vid laddning/ urladdning av energi ur ackumulatören hålls vattennivån i expansionskärl 2 konstant. Det garanterar att samma mängd vatten finns i fjärrvärmesystemet.[24]

Trycket i fjärrvärmenätet är betydligt högre än trycket i ackumulatören, som är nära atmosfärstryck. För att ta tillvara på tryckenergin vid i- och urladdning finns en vattenturbin av typen Francis installerad. Vattenturbinen och ackumulatorpumpen sitter på samma axel och den tillskottsenergi som behövs fås från två likströmsmotorer.[24]

För att förhindra att det kommer in syre i ackumulatören hålls det ständigt ett lågt övertryck i ackumulatören. Övertrycket åstadkoms genom att vatten nära kokpunkten sprutas över vattenytan. Uppvärmning av vatten till nära kokpunkten sker genom att vattnen pumpas till en värmeväxlare där ånga överför sin värme.[24]

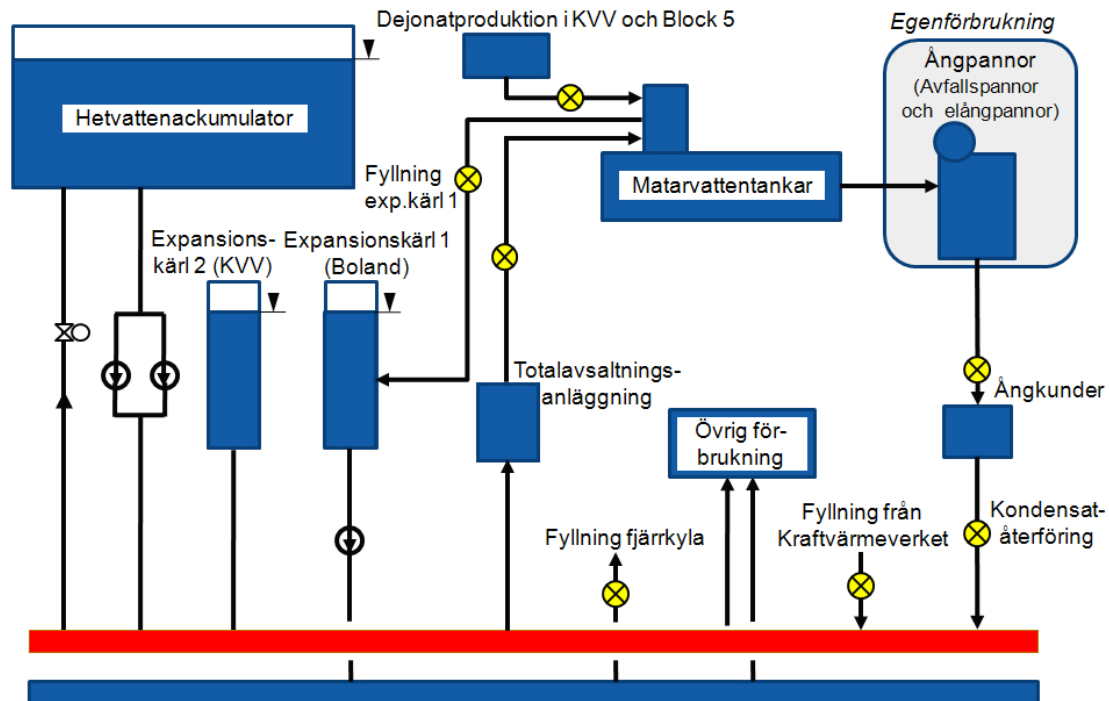
Ifall vattennivån i ackumulatören blir för låg kan den fyllas på via en ledning från fjärrvärmenätets framledning och blir den för hög kan två fyllnadspumpar fylla på fjärrvärmenätet. Skulle däremot vattennivån bli för hög utan att någon märker det så hamnar vatten i avloppet via ett bräddningsskydd.[24]

4.8 Tryckhållning

Tryckhållning av fjärrvärmenätet sker normalt via expansionskärl 2 vid Kraftvärmeverket. Den håller trycket på fjärrvärmenätets framledning med hjälp av en ångkudde i toppen av expansionskärl 2. Vid revision av expansionskärl 2 som oftast sker under sommaren sköts istället tryckhållningen av fjärrvärmenätet från expansionskärl 1 vid Bolandsverket. Expansionskärl 1 sköter tryckhållningen med hjälp av pumpar. Utan varken pumpar eller ångkudde skulle expansionskärlen behöva vara 120 meter höga för att hålla 12 bars övertryck.[9]

5 SYSTEMÖVERSIKT

I Figur 17 beskrivs översiktligt hur fjärrvärmevatten tillförs och bortförs från fjärrvärmenätet samt vilka kärl som är i kontakt med nätet.



Figur 17. Systemöversikt över fjärrvärmenätet

5.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet

Dejonat produceras vid två ställen, Kraftvärmeverket och Block 5. Dejonatet pumpas in i matarvattentankar och därifrån kan det pumpas vidare till ångpannor och till expansionskär 1 för att fylla på fjärrvärmenätet.[9]

Vattnet som pumpas till ångpannorna förångas i pannorna och används till exempel av ångkunderna och för att värma fjärrvärmevattnet via värmeväxlare. Kondensatet som bildas när ångan kondenserar på vägen till kunden (ledningskondensat) och/eller i kundens värmeväxlare samlas i kondensattankar. Därifrån pumpas kondensatet in på fjärrvärmenätets framledning. Undantaget är 21- ledningen till Fyrislund där ledningskondensatet går direkt tillbaka till matarvattentankarna. En liten del av den producerade ångan går förlorad vid till exempel ångsotning och av kunder som använder ångan direkt i processen.[9]

Kraftvärmeverket har väldigt höga krav på det vatten som används i pannan. Därför byts delar av pannvattnet ut med jämna mellanrum. Pannvattnet dumpas då i fjärrvärmenätet medan nytt dejonat fylls på.[9]

De tre beskrivna sätten att fylla på fjärrvärmenätet med vatten är via:

- Fyllning av expansionskär 1 från matarvattentankarna i Bolandsverket
- Återföring av kondensat till fjärrvärmenätets framledning
- Fyllning från Kraftvärmeverket

5.2 Bortförsel av fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätet

Fjärrvärmevatten används på ett flertal platser i anläggningarna. Nedan följer förbrukningspunkter som använder fjärrvärmevatten.

Totalavsaltningsanläggning

Fjärrvärmenätet har en stor vattenreserv i och med hetvattenackumulatorn. Skulle produktionen av dejonat sluta fungera måste matarvattenförsörjningen till ångpannorna ändå kunna tillgodose. Därför finns en totalavsaltningsanläggning som renar fjärrvärmevatten så att det kan användas som matarvatten. Totalavsaltningsanläggningen kan också användas när det tillförs mer vatten än vad som bortförs från fjärrvärmenätet. Fjärrvärmevatten körs då genom totalavsaltningsfiltret, annars skulle vattennivån i hetvattenackumulatorn stiga och slutligen skulle den bli full och fjärrvärmevatten skulle rinna till avlopp via ett bräddavlopp.[9]

Fyllning av fjärrkylanät

Stadens fjärrkylanät har ingen egen dejonatproduktion. Fjärrkylanätet fylls istället på med kylt fjärrvärmevatten vid behov. Det kan göras på två ställen i fjärrkylahallen: via en automatisk fyllning och via en nödfyllning. Normalt är det den automatiska fyllningen som används när vattennivån i kylackumulatorn sjunker. Nödfyllningen används när den automatiska fyllningen inte räcker till eller inte fungerar.[25]

Husbyborg

De tre pannorna i Husbyborg används inte så ofta, därför våtkonserveras de mellan produktionstillfällena. Våtkonserveringen går till så att pannorna fylls upp med fjärrvärmevatten och trycksätts. Detta görs för att hindra att korrosion uppstår i pannan.[26]

Urea

Urea används för att reducera mängden kväveoxider (NO_x) som bildas vid förbränning. Ureainsprutning används av kraftvärmeverket, den fastbränsleeldade hetvattenpannan, Block 1, Block 3 och Block 4. Tillredningen av urealösningen görs inom området och det går till så att ureagranulat och fjärrvärmevatten blandas. Att fjärrvärmevatten används är för att det krävs varmt vatten för att kunna lösa upp ureagranulaten och så vill man heller inte ha beläggningar i lansar och munstycken. [25]

Urealösningen håller en stark koncentration vid tillblandningen. Därför finns det en ureastation vid varje panna som späder urean med fjärrvärmevatten. Urealösningens koncentration varierar för att optimera mängden urea som sprutas in i pannan genom lansarna. Fjärrvärmevatten används också för att rensola och kyla lansarna. Renspolning av lansarna görs för att urealösningen inte ska kristallisera sig i munstyckena. Kylning av lansarna görs för att skydda de mot värmen i eldstaden. Urean reducerar kväveoxider inom ett särskilt temperaturfönster, när temperaturen vid lansarna hamnar utanför temperaturfönstret stoppas urean och kylning startar. Alternativet till kylning är att dra ut lansarna ur eldstaden.[25]

Hetgasgeneratorer

De bägge hetgasgeneratorerna har vatteninsprutning för att inte temperaturen efter kvarn och i skorsten ska bli för hög. Vatteninsprutning medför också att O₂-halten sjunker.[27]

Fyllning vid reparationer och inkopplingar

Vid underhåll, reparationer och byten av till exempel fjärrvärmeledningar och ventiler töms ofta fjärrvärmeledningar för att arbetet ska kunna utföras. När arbetet är utfört fylls ledningarna upp igen med fjärrvärmevatten. Den beräknade volymen vid återfyllning av ledningar klassas inte som nätläckage.[9]

Kylning av ledningskondensat vid Odal

Vid Odal samlas ledningskondensat i en kondensattank (UC3). För att kyla det varma kondensatet i tanken används vatten från fjärrvärmens returledning.[9]

Provtryckningar

Provtryckning av pannorna i Block 1, 3, 4, samt pannorna på Bolandsverket går till så att pannorna fylls upp med fjärrvärmevatten och trycksätts med matarvatten. Det görs för att fjärrvärmens returvatten har den rätta temperaturen och matarvatten används för att det har det rätta trycket.[26, 28]

Övriga

Fjärrvärmevatten förbrukas även på flera andra platser inom anläggningarna. Vid bränsleberedningen används fjärrvärmevatten till asksläckning. Fjärrvärmevatten läcker i otäta skarvar, ventiler, packboxar med mera. I trasiga värmeväxlare läcker fjärrvärmevatten på grund av att trycket är högre på fjärrvärmesidan. Dessutom finns det flera spoluttag som är kopplade till fjärrvärmenätet.[9]

5.3 Kärll i kontakt med fjärrvärmenätet

Expansionskärll 1 och 2 är i direktkontakt med fjärrvärmenätet och de tar upp de volymskillnader som sker i fjärrvärmenätet. När vattennivån i expansionskärll 2 blir för låg pumpas vatten från hetvattenackumulatort in på fjärrvärmenätet. Skulle nivån bli för hög i expansionskärlet öppnas en ventil till hetvattenackumulatort och vatten flödar in i ackumulatort på grund av tryckskillnaden. Denna reglering sköts automatiskt och pågår hela tiden. Volymskillnaderna beror till största delen på hur mycket vatten som tillförs och bortförs från fjärrvärmenätet, men även vattnets temperatur har betydelse. Det beror på att vattnets densitet är temperaturberoende. När vattnet blir varmare så minskar densiteten och vattnets volym ökar. Det motsatta sker när vattnet blir kallare.[9]

Om temperaturen på fjärrvärmevattnet ökar så kommer även vattnets volym att öka. Vattnet i nätet har ingen annanstans att ta vägen än till expansionskärllen. Nivån i expansionskärllen kommer då att stiga. Vid beräkning av nätläckaget kommer det att se ut som att mer vatten är i systemet eftersom vattennivåerna i expansionskärllen har ökat. Fast egentligen är det fortfarande samma mängd vatten i systemet. Skillnaden är att mindre vatten är i fjärrvärmenätet och mer vatten är i kärllen. Därför måste en nätkompensering tas fram för att kompensera för de volymförändringar i fjärrvärmenätet som har sitt ursprung i densitetsskillnader. Vattennivån i hetvattenackumulatort och de bägge expansionskärllen påverkar vattenvolymen i fjärrvärmenätet så bör dessa tas med i beräkningen.[9]

De tre kärll som är i kontakt med fjärrvärmenätet är:

- Hetvattenackumulatort
- Expansionskärll 1
- Expansionskärll 2

6 TIDIGARE BERÄKNINGAR AV NÄTLÄCKAGET

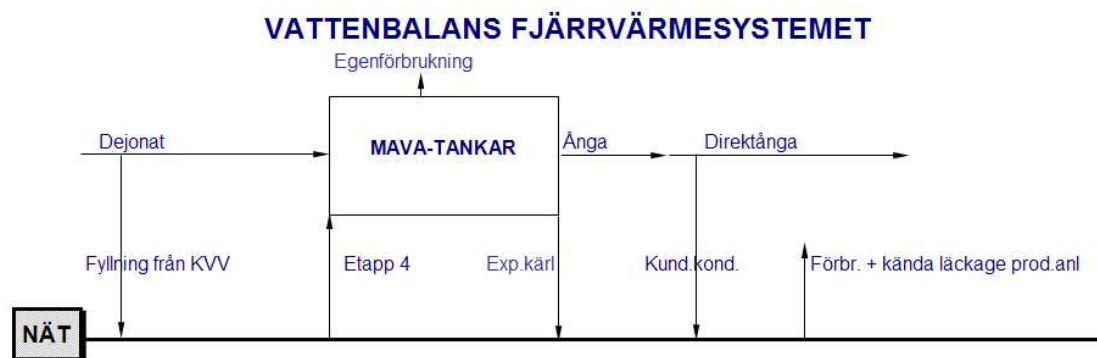
I dagsläget finns det två beräkningar av fjärrvärmenätets läckage. Urban Gustafsson på kemiavdelningen står för den officiella beräkningen av nätläckaget. Varje vecka publicerar han sin vattenrapport. Den andra beräkningen av nätläckaget görs av Åke Andersson som arbetar i kontrollrummet vid Kraftvärmeverket. De indata och beräkningar som de använder sig av skiljer sig en del från varandra och dessa beskrivs nedan.

Både Urban Gustafsson och Åke Andersson beräknar fjärrvärmenätets läckage på liknande sätt enligt nedan.

Nätläckage = Tillfört vatten till fjärrvärmenätet – bortfört vatten från fjärrvärmenätet ± volymskillnad i kärl

6.1 Urban Gustafssons beräkning av nätläckaget

Urban Gustafsson läser manuellt av värden från processdatabasen med undantaget för dejonatproduktionen på Block 5 som läses av från den lokala mätaren. Resultatet presenteras i Figur 18 för att göra det mer överskådligt. Både fjärrvärmenätets läckage och verkens egenförbrukning räknas fram.



Figur 18. Varje vecka presenteras vattenbalansen i denna figur.

6.1.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet

Fyllning av expansionskärl 1

Fyllning av expansionskärl 1 sker från matarvattentankarna i Bolandsverket och volymen dejonat som fyllts på registreras av mätaren med AKS-numret 01RL15F001A.

Kondensat från kunder och ledningar

Kondensat bildas när ångan kondenserar på väg till kunden (ledningskondensat) och/eller i kundens värmeväxlare. Det kondensat som pumpas in på fjärrvärmenätets framledning registreras av kondensatmätare och lagras i processdatabasen. Kondensatmätarna kan ses i Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Tabell över kondensatmätare och dess AKS- nummer.

Kondensatmätare	Typ av kondensat	AKS- nummer
Odal	Kund- och ledningskondensat	19RM00F001_INT
Akademiska sjukhuset	Kundkondensat	20RM00F001_INT
Akademiska sjukhuset	Ledningskondensat	20RM10F001_INT
Johan Hansson	Kundkondensat	18RM00F001_INT
P2	Kundkondensat	12RM30F001_INT
Pharmacia C7	Kundkondensat	12RM36F001_INT
Pharmacia Fyrislund	Kundkondensat	15RM00F001_INT
Fresenius	Kundkondensat	21RM00F001_INT
Slotts	Kundkondensat	22RM10F001_INT

Fyllning från Kraftvärmeverket

När Kraftvärmeverket byter ut delar av sitt pannvatten så pumpas deras ”gamla” vatten till fjärrvärmenätet medan nytt matarvatten fylls på. Vattnet som går in på fjärrvärmenätet registreras av vattenmätaren med AKS-numret 00RM08F001 och den är kopplad till processdatabasen.

6.1.2 Bortförsel av fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätet

Totalavsaltningfilter

Totalavsaltningfiltret används för att rena fjärrvärmevatten så att det får en sådan kvalitet att det går att använda som matarvatten. Volymen totalavsaltat fjärrvärmevatten mäts efter totalavsaltningssystemet och mätaren har AKS-numret 01VB13Q001A och är kopplad till processdatabasen.

Schablon

Schablonen innefattar allt fjärrvärmevatten som används till urea, insprutning i hetgasgeneratorerna, läckande packboxar, läckande värmväxlare, asksläckning vid bränsleberedningen, spoluttag, otäta ventiler, otäta skarvar med mera. Hur stor den verkliga bortförslagen av fjärrvärmevatten är varierar naturligtvis. Schablonens storlek har varierat genom åren men sedan 1998 har den varit 500 m³ i veckan.[29]

6.1.3 Kärl i kontakt med fjärrvärmenätet

Hetvattenackumulator

Nivån i hetvattenackumulatören mäts med mätutrustningen med AKS-numret 00VQ00L001 och volymen per meter i ackumulatören som Urban Gustafsson använder sig av är 1400 m³. Nivåmätaren är kopplad till processdatabasen.

Expansionskärl 1

Nivån i expansionskärl 1 mäts med mätutrustningen med AKS-numret 01VN00L001A och volymen per meter i expansionskärl 1 som Urban Gustafsson använder sig av är 20 m³. Nivåmätaren är kopplad till processdatabasen.

Expansionskärl 2

Nivån i expansionskärl 2 mäts med mätutrustningen med AKS-numret 00VN00L002/A_MV_L.PV_IN. Volymen per meter i expansionskärl 2 som Urban Gustafsson använder sig av är 25 m³. Nivåmätaren är kopplad till processdatabasen.

6.1.4 Övriga vattenposter

Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket

Vattenmätaren med AKS-numret 01RZ10Q001A registrerar den producerade dejonatvolymen i Kraftvärmeverket. Mätaren är kopplad till processdatabasen.

Dejonatproduktion i Block 5

Den nya dejonatproduktionsanläggningen i Block 5 läser Urban Gustafsson av från den lokala mätaren 03RZ10F001.

Ångleverans

Ångan som produceras i ångpannorna transporteras till kunderna i ångledningar. Den levererade ångan registreras av ångmätare, se Tabell 3.

Tabell 3. Ångmätare som registrerar den ånga som levereras till kunderna.

Ångmätare hos kund	AKS- nummer	Enhet
Akademiska sjukhuset	20RD00F001_INT	ton
Fresenius	15RD20F001_INT	ton
Johan Hansson, lilla mätaren	18RD00F002_INT	ton
Johan Hansson, stora mätaren	18RD00F001_INT	ton
Odal, lilla mätaren (UC2)	19RD20F002_INT	ton
Odal, lilla mätaren (UC3)	19RD30F002_INT	ton
Odal, stora mätaren (UC2)	19RD20F001_INT	ton
Odal, stora mätaren (UC3)	19RD30F001_INT	ton
P2	12RD30F001_INT	ton
Pharmacia C7	12RD35F001_INT	ton
Pharmacia Fyrislund	15RD00F001_INT	ton
Slotts, lilla mätaren	22RD10F001_INT	ton
Slotts, stora mätaren	22RD10F002_INT	ton

Direkt ånga

Direkt ånga är den ånga som används direkt i processen och den räknas ut som skillnaden mellan levererad ånga och återfört kondensat.

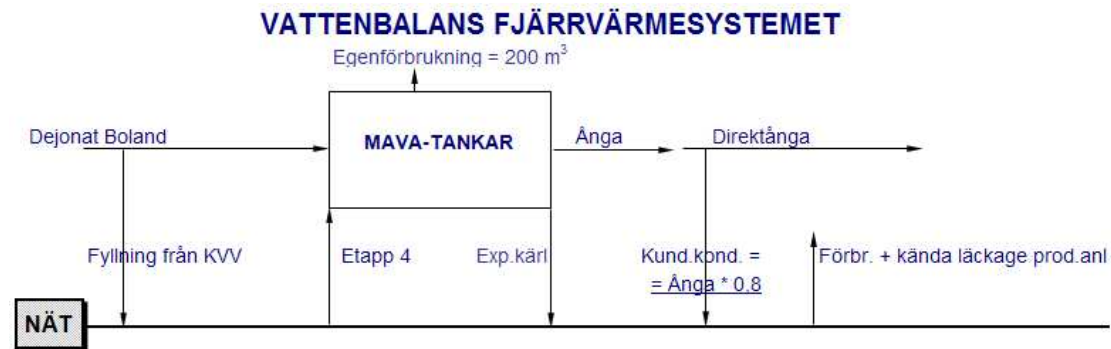
Verkens egenförbrukning

Verkets egenförbrukning beräknas enligt följande:

Verkens egenförbrukning = Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket och Block 5 + vatten från totalavsaltningfiltret - levererad ånga – fyllning till expansionskärl 1

6.2 Åke Anderssons beräkning av nätläckaget

Åke Andersson har byggt upp en beräkningsmodell i Excel där han läser in värden från processdatabasen med hjälp av ActiveFactory. Fjärrvärmenätets läckage beräknas automatiskt varje dygn. Nedan beskrivs vilka parametrar som används och hur nätläckaget beräknas.



Figur 19. Visar översiktligt Åke Anderssons beräkningsmodell.

6.2.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet

Fyllning av expansionskärl 1

Fyllning av expansionskärl 1 sker från matarvattentankarna i Bolandsverket och volymen dejonat som fyllts på registreras av mätaren med AKS-numret 01RL15F001A.

Kondensat från kunder och ledningar

Det återförda kondensatet antar Åke Andersson att det är 80 % av den levererade ångan.

Fyllning från Kraftvärmeverket

När Kraftvärmeverket byter ut delar av sitt pannvatten så pumpas deras ”gamla” vatten till fjärrvärmenätet medan nytt matarvatten fylls på. Vattnet som går in på fjärrvärmenätet registreras av vattenmätaren med AKS-numret 00RM08F001 och den är kopplad till processdatabasen.

6.2.2 Bortförsel av fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätet

Totalavsaltningfilter

Totalavsaltningfiltret används för att rena fjärrvärmevatten så att det får en sådan kvalitet att det går att använda som matarvatten. Volymen renat fjärrvärmevatten mäts på vägen till matarvattentankarna. Mätaren har AKS-numret 01VB13Q001A och är kopplad till processdatabasen.

6.2.3 Kärl i kontakt med fjärrvärmenätet

Hetvattenackumulator

Nivån i hetvattenackumulatoren mäts med mätutrustningen med AKS-numret 00VQ00L006, den mätutrustningen mäter vattennivån med vajerradar.[33] Det innebär att det är den faktiska vattennivån som mäts. Volymen per meter i ackumulatoren som Åke Andersson använder sig av är 1400 m³.

För att kompensera för nivåskillnader i hetvattenackumulatoren som har sitt ursprung i densitetsfluktuationer så använder Åke Andersson sig av en temperaturkompensering av hetvattenackumulatoren.

Expansionskärl 1

Nivån i expansionskärl 1 mäts med mätutrustningen med AKS-numret 01VN00L001A och volymen per meter i expansionskärl 1 som Åke Andersson använder sig av är 19,6 m³. Nivåmätaren är kopplad till processdatabasen.

Expansionskärl 2

Nivån i expansionskärl 2 mäts med mätutrustningen med AKS-numret 00VN00L002/A_MV_L.PV_IN och volymen per meter i expansionskärl 2 som Åke Andersson använder sig av är 28 m³. Nivåmätaren är kopplad till processdatabasen.

Temperaturkompensering av fjärrvärmenätet

Temperaturkompenseringen av fjärrvärmenätet räknas ut enligt följande:

$$\Delta V_{\text{nät}} = \frac{(\Delta T_{\text{Framledning, norr}} + \Delta T_{\text{Returledning, öster}})}{2} \cdot \gamma \cdot V_{\text{Nät}} \quad (2)$$

Temperaturdifferansen mellan två dygn räknas ut för framledningen norrut och för returledningen österut. Medeltemperaturdifferensen räknas ut och multipliceras med volymutvidgningskoefficienten och fjärrvärmenätets volym. Volymutvidgningskoefficienten är satt till 0,00018 1/°C och fjärrvärmenätets volym är 20000 m³.

6.2.4 Övriga vattenposter

Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket

Vattenmätaren med AKS-numret 01RZ10Q001A i processdatabasen registrerar dejonatproduktionen i Kraftvärmeverket. Alla komponenter har ett unikt AKS-nummer för att hindra att missförstånd uppstår.

Verkens egenförbrukning

Verkens egenförbrukning antas vara ett konstant värde på 200 m³ per dag.

Ångleverans

Åke Andersson läser inte in mätdata från de ångmätare som registrerar den levererade ångan. Istället beräknar han ångleveransen genom att räkna ut skillnaden mellan hur mycket vatten som tillförs och bortförs matarvattentankarna. Vatten tillförs matarvattentankarna genom dejonatproduktionen och totalavsaltningfiltret (etapp 4) och vatten bortförs från matarvattentankarna vid fyllning till expansionskärl 1 och genom verkens egenförbrukning, se *Figur 19*. Det är endast dejonatproduktionen från Kraftvärmeverket som är med i beräkningen.

7 DATA OCH BERÄKNINGAR

7.1 Tillförsel av vatten till fjärrvärmenätet

7.1.1 Fyllning av expansionskärl 1

När fjärrvärmenätet behöver fyllas på kan det göras genom fyllning av expansionskärl 1 från matarvattentankarna på Bolandsverket. Flödet registreras av en vattenmätare med AKS-nummer 01RL15F001A.

7.1.2 Kondensat från kunder och ledningar

Kondensatet som bildas när ångan kondenserar på väg till kunden (ledningskondensat) och/eller i kundens värmeväxlare samlas i kondensattankar hos kunderna. Därifrån pumpas kondensatet in på fjärrvärmenätets framledning. Undantaget är 21- ledningen till Fyrislund där ledningskondensatet går direkt tillbaka till matarvattentankarna. Kondensatvolymerna mäts och lagras i processdatabasen. Kondensatmätarna kan ses i Tabell 4. Ledningskondensatet till Odal och Akademiska sjukhuset samlas upp i varsin kondensattank innan det pumpas in på fjärrvärmenätets framledning. Alla kondensatmätare i Tabell 4 är kopplade till processdatabasen.

Tabell 4. Tabell över kondensatmätare och dess AKS- nummer.

Kondensatmätare	Typ av kondensat	AKS- nummer
Odal	Kund- och ledningskondensat	19RM00F001_INT
Akademiska sjukhuset	Kundkondensat	20RM00F001_INT
Akademiska sjukhuset	Ledningskondensat	20RM10F001_INT
Johan Hansson	Kundkondensat	18RM00F001_INT
P2	Kundkondensat	12RM30F001_INT
Pharmacia C7	Kundkondensat	12RM36F001_INT
Pharmacia Fyrislund	Kundkondensat	15RM00F001_INT
Fresenius	Kundkondensat	21RM00F001_INT
Slotts	Kundkondensat	22RM10F001_INT

7.1.3 Fyllning från kraftvärmeverket

När Kraftvärmeverket byter ut delar av sitt pannvatten så pumpas deras ”gamla” vatten till fjärrvärmenätet medan nytt matarvatten fylls på. Vattnet som går in på fjärrvärmenätet registreras av vattenmätaren med AKS- numret 00RM08F001.

7.2 Bortförsel av vatten från fjärrvärmenätet

7.2.1 Totalavsaltningsfilter

Med totalavsaltningsfiltret finns det möjlighet att rena fjärrvärmevattnet genom att ta ett delflöde från fjärrvärmenätet och köra det genom totalsaltningfiltret och sedan tillbaka in på fjärrvärmenätet. Mätaren med AKS- numret 01VB13Q001A registrerar däremot enbart det flöde av vatten som senare blir matarvatten.

7.2.2 Fyllning fjärrkyla

Vid fyllning av fjärrkylanätet används normalt den automatiska fyllningen och vattenmängden registreras i processdatabasen av mätaren med AKS- numret 08VC80Q001A. Vattenvolymen registreras i liter, varför volymen måste divideras med 1000 för att få volymen i kubikmeter. I vissa fall används dock nödfyllningen och då registreras vattenvolymen av mätaren med AKS- numret 08VC33F005, den mätaren är inte kopplad till processdatabasen. Nödfyllningens mätarställning rapporteras däremot manuellt vid varje månadsslut.[25]

7.2.3 Husbyborg

I Husbyborg finns det tre oljepannor och när de våtkonserveras används cirka 30 m³ fjärrvärmevatten per panna. Det fjärrvärmevatten som används i Husbyborg registreras av mätaren 04VC05F001 och den läses av en gång per månad.

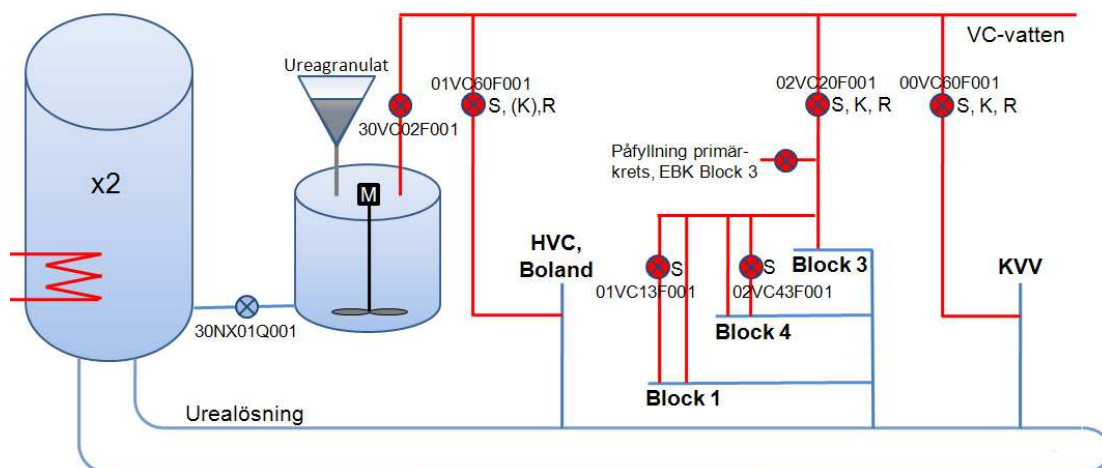
7.2.4 Schablon

Urea - Översikt

Användning av fjärrvärmevatten till ureaanvändningen kan delas in i två huvudområden, tillredning och spädning. Tillredningen sker i anläggningen vid skorstensfoten och där sitter det en vattenmätare (30VC02F001) som mäter det fjärrvärmevatten som används för att lösa upp ureagranulaten. Denna mätare är inte kopplad till processdatabasen och den sitter eländigt till för avläsning, det krävs en stege för att läsa av mätaren.

Den volym fjärrvärmevatten som används för att späda urealösningen samt renskola och kyla lansarna kan bestämmas genom att läsa av tre vattenmätare. Ingen av dessa mätare är kopplade till processdatabasen. Vattenmätaren vid Kraftvärmeverket (00VC60F001) är monterad under trappan vid ureastationen och vattenmätaren vid den fastbränsleeldade hetvattenpannan (01VC60F001) är monterad vid sin ureastation. Vattenmätaren vid avfallsanläggningarna (02VC20F001) är monterad längs väggen vid Block 4 på plan 2, den mätaren är trasig. En översiktsskiss av urean kan ses i *Figur 20*.

Om den trasiga vattenmätaren vid avfallsanläggningen skulle bytas ut och de fyra vattenmätarna som nämnts ovan skulle kopplas till processdatabasen skulle den exakta volymen fjärrvärmevatten som används till urea kunna läsas av dygnsvis. Eftersom så inte är fallet har en annan lösning tagits fram.

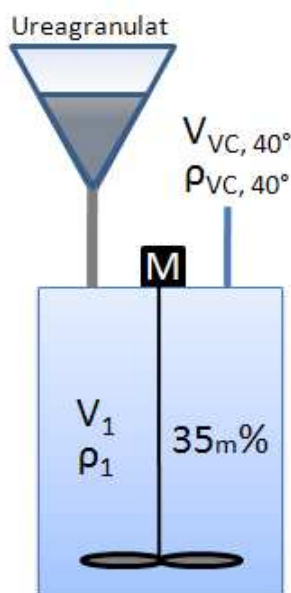


Figur 20. Schematisk bild över fjärrvärme- och urealedningar. S, R och K visar vad mätarna registrerar, se teckenförklaring. HVC- pannans lansar dras ut när urean inte längre används, därför används inget fjärrvärmevatten till kylning av lansar. Teckenförklaring: S= Spädning av urea; K= Kylning av lansar; R= Renspolning av lansar

När en sats urealösning har tillretts så pumpas den till två stora tankar som varmhålls. På vägen till tankarna sitter en flödesmätare som är kopplad till processdatabasen. I processdatabasen kan det integrerade värdet från flödesmätaren avläsas. Med kännedom om processerna där urea används kan fjärrvärmevattnet som används till urean räknas fram.

Urea - Tillredning

Vid tillredningen blandas ureagranulat med vatten från fjärrvärmereturen. Temperaturen på fjärrvärmens returvatten antas vara cirka 40 °C. Tillredaren strävar efter att urealösningen ska hålla en densitet på 1095 kg/m³ och koncentrationen urea är cirka 35 massprocent.[30]



Figur 21. Tillredning av urea.

Bestämning av volymen fjärrvärmevatten (även kallat VC- vatten) som har blandats med ureagranulat.

Sökt storhet är alltså $V_{VC, 40^\circ}$

Massan för den tillblandade urealösningen är

$$m_1 = \rho_1 \cdot V_1 \quad (3)$$

Eftersom 35 massprocent av den tillredda lösningen är urea så vet vi att resterande 65 massprocent är fjärrvärmevatten

$$m_{VC, 40} = 0,65 \cdot m_1 \quad (4)$$

(3) insatt i (4) ger att

$$m_{VC, 40} = 0,65 \cdot \rho_1 \cdot V_1 \quad (5)$$

Den tillförda volymen fjärrvärmevatten går att uttrycka som

$$V_{VC, 40} = \frac{m_{VC, 40}}{\rho_{VC, 40}} \quad (6)$$

(5) insatt i (6) ger att

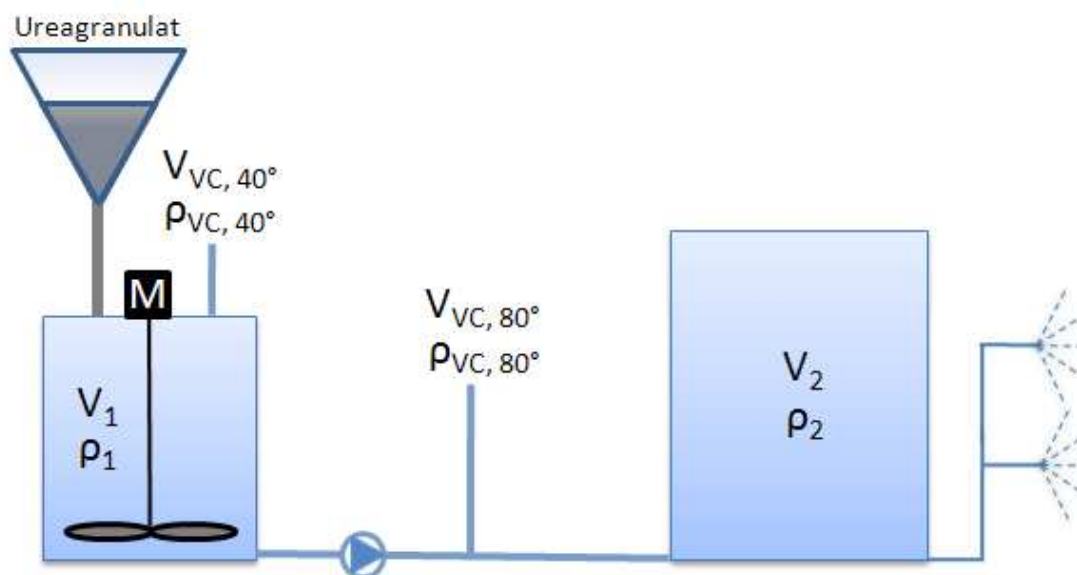
$$V_{VC, 40} = \frac{0,65 \cdot \rho_1 \cdot V_1}{\rho_{VC, 40}} = 0,65 \cdot V_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_{VC, 40}} \quad (7)$$

Alltså, den tillförda volymen fjärrvärmevatten vid tillredningen kan beskrivas av formeln

$$V_{VC, 40} = V_{VC, \text{tillredning}} = 0,65 \cdot V_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_{VC, 40}} \quad (8)$$

Urea – Spädning

Den sökta storheten är volymen fjärrvärmevatten som har använts för att späda urealösningen.



Figur 22. Spädning av den tillblandade urean.

Massbalans ger att

$$m_1 + m_{VC, 80^\circ} = m_2 \quad \Leftrightarrow \quad \rho_1 \cdot V_1 + \rho_{VC, 80^\circ} \cdot V_{VC, 80^\circ} = \rho_2 \cdot V_2 \quad (9)$$

Efter tillredningen sker en tryckhöjning från 1 till 10 bar och inom det trycket kan vatten närmast ses som inkompressibelt. Därför kan volymen i tank 2 uttryckas som volymen i tank 1 plus tillförd volym fjärrvärmevatten

$$V_2 \approx V_1 + V_{VC, 80^\circ} \quad (10)$$

(10) insatt i (9) ger att

$$\begin{aligned} \rho_1 \cdot V_1 + \rho_{VC, 80^\circ} \cdot V_{VC, 80^\circ} &= \rho_2 \cdot (V_1 + V_{VC, 80^\circ}) \quad \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \quad V_{VC, 80^\circ} &= V_1 \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - \rho_{VC, 80^\circ}} \end{aligned} \quad (11)$$

Alltså, den volym fjärrvärmevatten som åtgår för att späda urealösningen är

$$V_{VC, 80^\circ} = V_{VC, spädning} = V_1 \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - \rho_{VC, 80^\circ}} \quad (12)$$

Urea - Viktning av densiteterna

Ureans densitet när den sprutas in i pannan är olika för de fem pannorna och den varierar beroende på lasten. För att kunna använda en gemensam densitet (ρ_2), måste

därför en viktning göras. Det bästa vore om viktningen baseras på ureans årliga medeldensitet för en panna och multiplicera det med den årliga volymen urea som sprutas in i samma panna. Summera detta för samtliga pannor och dividera det med summan av volymen urea för samtliga pannor.

$$\rho_{2, \text{ viktad}} = \frac{\sum_{i=1}^5 (\rho_i \cdot V_i)}{\sum_{i=1}^5 (V_i)}, \quad (13)$$

där i går från ett till fem och representerar de fem pannorna .

Eftersom volymen urea inte är känd för pannorna så approximeras den med antalet drifttimmar · antalet lansar. Denna approximering tar inte hänsyn till att ureaflödet varierar beroende på temperaturen i pannan och ammoniakslipet i rökgaserna.

$$V \approx \text{antal drifttimmar} \cdot \text{antal lansar} \quad (14)$$

(14) insatt i (13) ger att

$$\rho_{2, \text{ viktad}} = \frac{\sum_{i=1}^5 (\rho_i \cdot \text{antal drifttimmar}_i \cdot \text{antal lansar}_i)}{\sum_{i=1}^5 (\text{antal drifttimmar}_i \cdot \text{antal lansar}_i)} \quad (15)$$

Vid de tillfällen då pannorna inte är i drift blir ureans densitet missvisande. För Block 1 och 4 som är i drift nästan hela året tas ureans medeldensitet över två år. För Block 3, KVV och HVC är ureans medeldensitet tagen över en längre sammanhängande driftperiod. Grafer över ureans densitet för de givna pannorna och driftperioderna kan ses i bilaga 1.

Tabell 5. Pannornas drifttimmar, antal lansar och ureans medeldensitet.[31]

Panna	Drifttimmar per år	Antal lansar	Ureans medeldensitet	Period
Block 1	7000	8	1020	061201-081201
Block 3	5000	2	1041	071007-080525
Block 4	7000	8	1013	061201-081201
KVV	3500	12	1022	071123-080328
HVC	800	8	1069	070122-070328

Insatta värden ger att $\rho_{2, \text{ viktad}} = 1021 \text{ kg} / \text{m}^3$ (16)

Urea - Totalt

Den totala volym fjärrvärmevatten som använts är summan av volymerna som åtgått vid tillredning och spädning av urea.

$$\begin{aligned} V_{VC, totalt} &= V_{VC, tillredning} + V_{VC, spädning} = \\ &= 0,65 \cdot V_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_{VC, 40^\circ}} + V_1 \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - \rho_{VC, 80^\circ}} = V_1 \cdot 0,65 \left(\frac{\rho_1}{\rho_{VC, 40^\circ}} + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - \rho_{VC, 80^\circ}} \right) \quad (17) \end{aligned}$$

Denna formel tar inte hänsyn till det fjärrvärmevatten som används till renspolning och kylning av urealansar.

Hetgasgenerator

Det huvudsakliga syftet med att spruta in vatten i hetgasgeneratoren är att hålla ner temperaturen efter kvarn och temperaturen på rökgaserna i skorstenen. Vatteninsprutning medför även att O₂-halten sjunker. Vatteninsprutning behövs bara användas när kvarnarna går på låglast.[27] Den mängd fjärrvärmevatten som används i hetgasgeneratorerna mäts med vattenmätarna 09NW00F001 och 09VN13F001. Dessa två vattenmätare är inte kopplade till processdatabasen.

Kylning av ledningskondensat vid Odal

Vid Odal samlas ledningskondensat i en kondensattank (UC3). För att kyla det varma kondensatet i tanken används vatten från fjärrvärmenätets returledning.[9] Kylning av ledningskondensatet vid Odal var inte tidigare känt av Urban Gustafsson. Volymen fjärrvärmevatten som använts har lästs av varje fredag under sju veckor och i medel användes 86 m³ per vecka, se bilaga 2. Arbetsgruppen har beslutat att kylning av ledningskondensatet vid Odal ska ingå i schablonens 500 m³ i veckan, då det gjort det hela tiden oavsett om det var känt eller inte.

7.3 Kär i kontakt med fjärrvärmenätet

7.3.1 Hetvattenackumulator

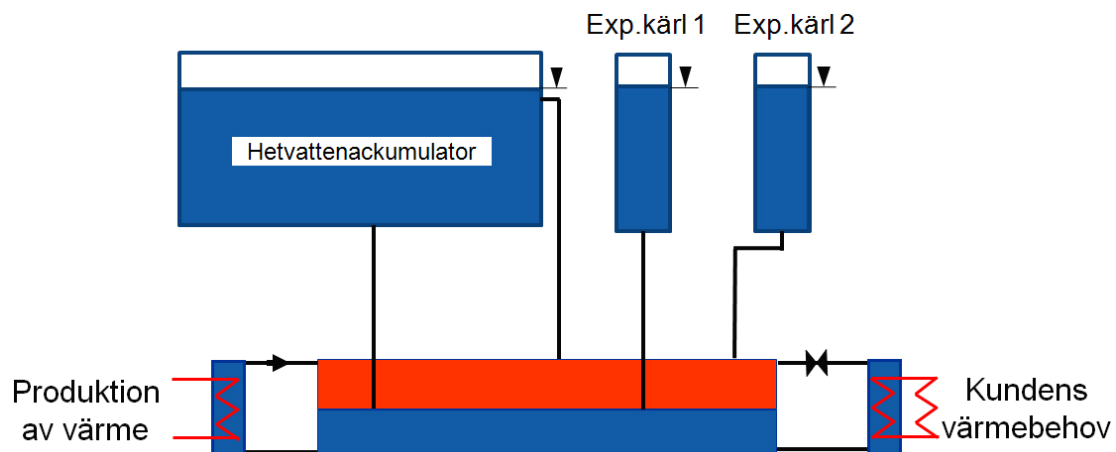
För att få med volymförändringarna som sker i hetvattenackumulatoren krävs att ackumulatorns area och vattennivåns höjd är kända. Ackumulatorns dimensioner har fått fram genom att söka i arkivets pärmar. Den invändiga diametern är 42 meter och höjden är 21 meter.[32] Volymen per meter har beräknats till 1385 m³/m.

Hetvattenackumulatorns vattennivå mäts med hjälp av två olika mätare. Det ena mätaren har AKS- numret 00VQ00L006 och det är en vajerradar som mäter den faktiska vattennivån. Det andra mätaren är en tryckgivare och den har AKS- numret 00VQ00L001.[33] Definitionen av tryck är kraft per areaenhet och kraften som vattenpelaren i ackumulatoren utövar mot underlaget är lika med vattnets massa multiplicerat med jordens gravitation.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} \quad (18)$$

Jordens gravitation och vattenpelarens area är konstant. Det är endast vattnets massa som ändras vid till- eller bortförsel av vatten från hetvattenackumulatoren. Vattnets massa beror av vattnets medeldensitet multiplicerat med dess volym. Vid temperaturändringar i vattnet kommer dess densitet och volym att ändras men massan kommer att vara konstant.

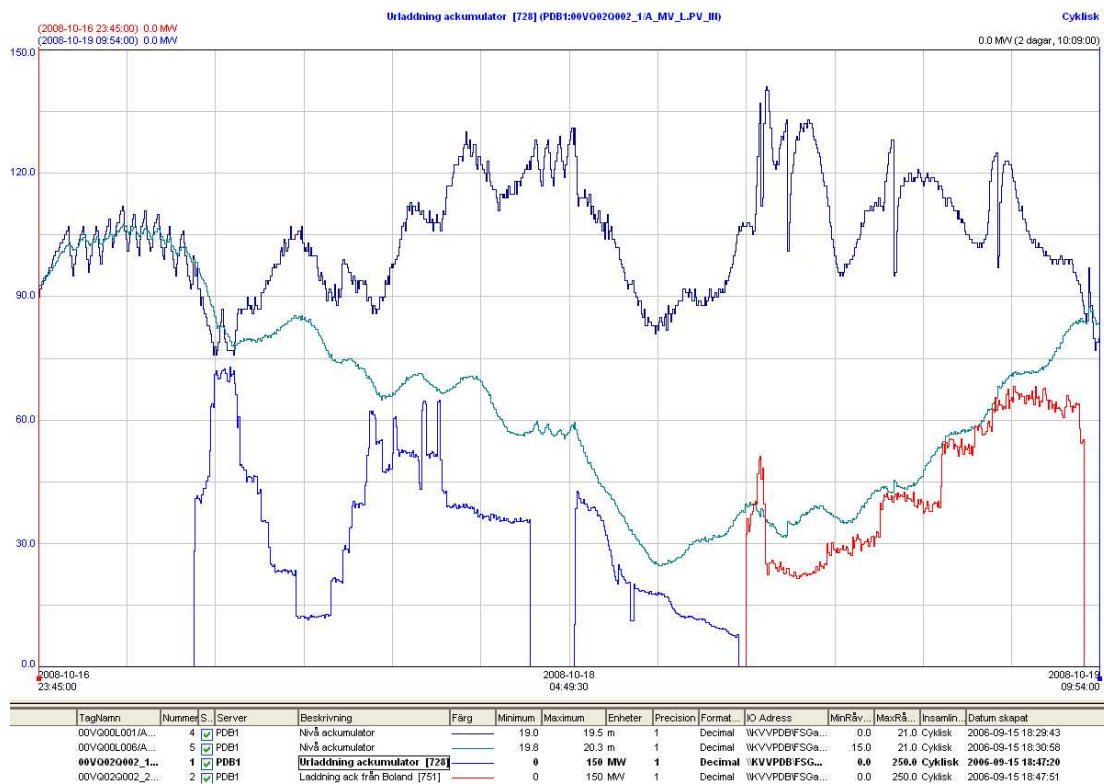
För att säkerställa att inte för mycket vatten tillförs eller bortförs från fjärrvärmenätet vid i- och urladdningar, hålls därför nivån i expansionskär 2 konstant. Detta medför att fjärrvärmenätet och expansionskär 2s vattenvolym är konstant. En principiell bild över fjärrvärmenätet och de kär 2 som är kopplade till nätet kan ses i *Figur 23*.



Figur 23. Bild över fjärrvärmenätet och de kär 2 som är kopplade till nätet.

När kundens värmebehov är större än produktionen av värme så kan antingen en panna till startas eller så kan urladdning av hetvattenackumulatoren startas, förutsatt att hetvattenackumulatoren är laddad med energi (varmt vatten). Vid urladdning av energi från hetvattenackumulatoren pumpas varmt vatten in i fjärrvärmenätet och kallt returvatten leds samtidigt in i hetvattenackumulatoren. Det varma vattnet som pumpas in i fjärrvärmenätet kommer att ledas till kundens värmeväxlare där det kyls av och leds in i fjärrvärmenätets returledning. Sedan när hetvattenackumulatoren är tom på energi, det vill säga när allt varmt vatten har kylts ner. Då har vattennivån i hetvattenackumulatoren sjunkit. Det beror på att kallt vatten har högre densitet och då minskar vattnets volym. Det motsatta kommer att hända när hetvattenackumulatoren laddas med varmt vatten. Produktionen av värme är då större än kundens värmebehov. Kallt vatten från hetvattenackumulatoren pumpas in i fjärrvärmenätets returledning. Vattnet värms upp och pumpas in i fjärrvärmenätets framledning och där leds det in i hetvattenackumulatoren. Allteftersom vattnet i hetvattenackumulatoren värms upp kommer vattennivån i ackumulatoren att stiga eftersom vattnets densitet minskar. Vattnets massa i hetvattenackumulatoren kommer däremot att vara konstant.

Fördelen med att mäta vattennivån i hetvattenackumulatoren med det statiska trycket är att man slipper temperaturkompensera vattnet i hetvattenackumulatoren. Det kan ses i *Figur 24* som jämför 00VQ00L001 och 00VQ00L006 vid urladdning och laddning av energi i ackumulatoren. Till en början följer vattennivåerna varandra men när urladdning av värme startar sjunker den faktiska vattennivån, medan tryckgivaren visar ett relativt konstant värde. Det motsatta händer sedan när laddning av hetvattenackumulatoren startar.



Figur 24. Nivåmätarna 00VQ00L001 och 00VQ00L006 i hetvattenackumulatort jämförs vid urladdning och laddning av värme.

Vid beräkning av vattenläckaget i fjärrvärmenätet är det intressant att veta hur mycket vatten som tillförts/försvunnit ur ackumulatort. Volymförändringar som beror på hetvattenackumulatorns laddningsgrad ska därför inte vara med. Därför används mätsystemet 00VQ00L001 i beräkningen, eftersom den mäter det statiska trycket.

7.3.2 Expansionskärl 1

Expansionskärl 1 vid Bolandsverket har en innerdiameter på 5 meter.[34] Volymen per meter har beräknats till 20 m³/m. Utrustningen för att mäta vattennivån i expansionskärl 1 är en tryckgivare med AKS- numret 01VN00L001A.[33] Därför behövs ingen temperaturkompensering, se resonemanget i kapitel 7.3.1.

7.3.3 Expansionskärl 2

Expansionskärl 2 vid Kraftvärmeverket har en innerdiameter på 5,9 meter.[35] Volymen per meter har beräknats till 27 m³/m. Vattennivån i expansionskärl 1 mäts med en tryckgivare med AKS- numret 00VN00L002/A_MV_L.PV_IN.[33] Någon temperaturkompensering för vattnet i expansionskärl 2 behövs därför inte, se resonemanget i kapitel 7.3.1.

7.3.4 Temperaturkompensering av fjärrvärmenätet

För att kunna göra en temperaturkompensering av fjärrvärmenätet behövs kunskap om nätets volym, dess temperatur samt volymutvidgningskoefficienten. Hänsyn måste dessutom tas till både fram- och returledningen.

Nätets volym

Nätets längd är idag cirka 420 km och består av kulvertar av olika dimensioner.[1] För att kunna bestämma fjärrvärmenätets volym måste tillgång finnas till alla kulvertars dimension och längd. Majid Mohammadi som arbetar med att göra flödesberäkningar i fjärrvärmenätet har bestämt fjärrvärmenätets volym till 21400 m³. [6] Det antagande som gjorts är att fram- och returledningarna har lika stora volymer, det vill säga 10700 m³ vardera.

Mätpunkter i fjärrvärmenätet

Fjärrvärmenätet brukar delas in i tre sektioner: norr, väster och öster. I några få kammare i fjärrvärmenätet mäts temperatur och tryck för fram- och returledningen. För att kunna beräkna nätets medeltemperatur har två strategiska kammare per sektion valts ut. Kammarna har valts för att ge en samlad bild av fjärrvärmenätets medeltemperatur. Det är alltså tolv temperaturmätare; sex stycken på både fram- och returledningen. Kammarnas placering kan ses i Figur 25.



Figur 25. Kammarnas placering i Uppsala, temperaturen mäts på både fram- och returledningen. Bilden är redigerad av författaren.[36]

För de utvalda kammarna kan deras kammarnummer, temperaturmätarnas AKS-nummer för både fram- och returledning och kulvertens dimension ses i Tabell 6.

Tabell 6. Information om de valda kammarna.

Område	Kammar nummer	AKS- nummer framledning	AKS- nummer returledning	Kulvertens diameter [mm]
Sektion Norr				
Kvarngärdet	1702	60VN1702T001A	60VN1702T002A	400
Årsta	4145-3	60VN4145_3T001A	60VN4145_3T002A	70
Sektion Öster				
Ulleråker	5522	60VN5522T001A	60VN5522T002A	500
Gottsunda	3445	60VN3445T001A	60VN3445T002A	300
Sektion Väster				
Akademiska	2824	60VN2824T001A	60VN2824T002A	400
Luthagen	2513	60VN2513T001A	60VN2513T002A	100

Volymutvidgningskoefficienten

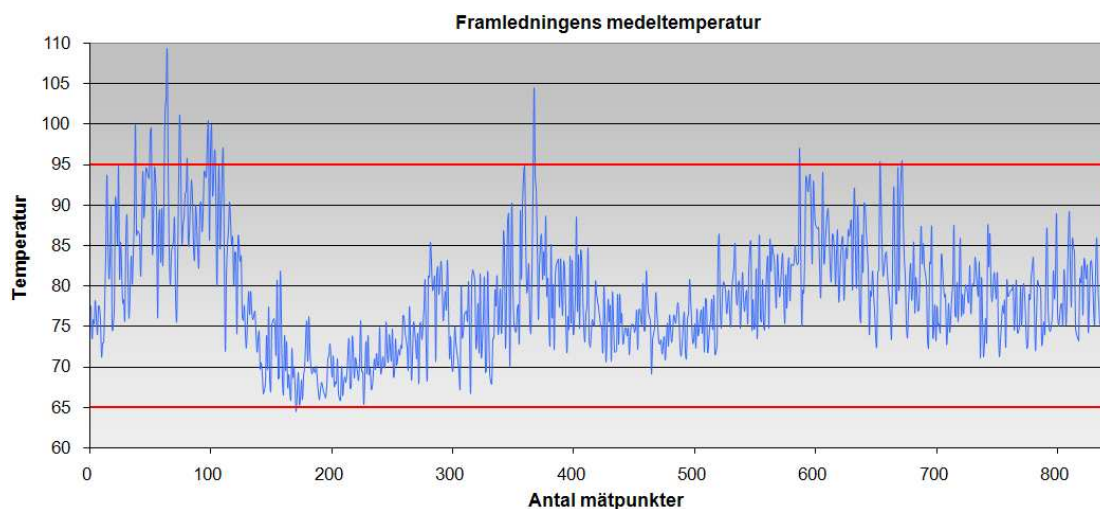
Vattens densitet och därmed volym är beroende av temperaturen. Vid stigande temperatur minskar densiteten och då ökar volymen. För att ta hänsyn till hur volymen beror av temperaturen kan en volymutvidgningskoefficient räknas fram för ett givet temperaturintervall med nedanstående formel.

$$\gamma = \frac{v(t_{\max}) - v(t_{\min})}{v(t_{\min})} \cdot \frac{1}{t_{\max} - t_{\min}} \quad 1/^{\circ}\text{C} \quad (19)$$

Där v är volymiteten (m^3/kg) som är det inverterade värdet av densiteten.[37]

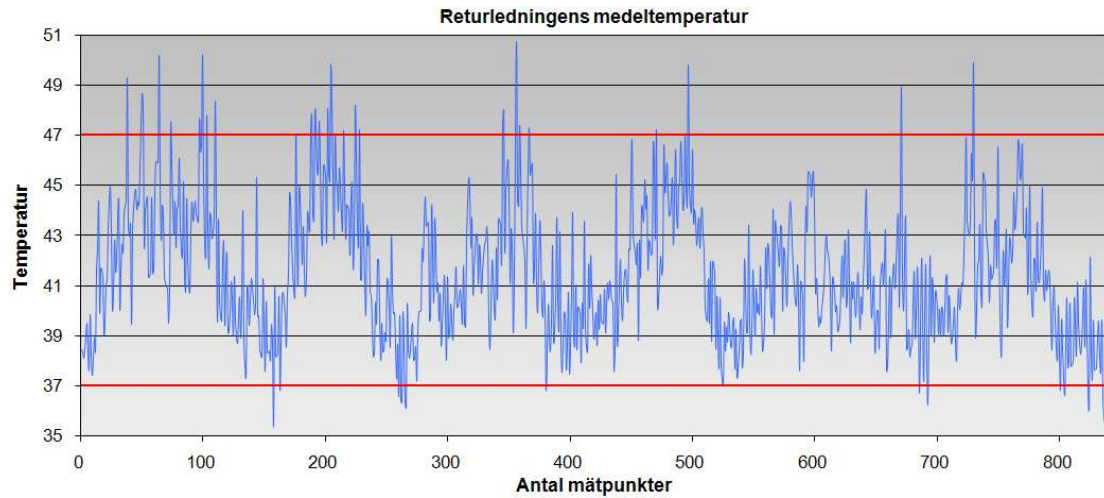
De temperaturintervall som volymutvidgningskoefficienten har beräknats för har fått fram genom att studera grafer över tre års tid. Medelvärde för de sex framledningstemperaturerna har beräknats i alla de 841 mätpunkterna. Därefter har en graf ritats upp med framledningens medeltemperatur under tre år. Detsamma har gjorts för temperaturen i returledningen. Utifrån de framtagna graferna har intervallerna valts så att extremerna uteblir. Detta gör att temperaturkompenseringen blir mer noggrann inom de temperaturintervall som oftast råder.

För framledningen har temperaturintervallet valts mellan 65-95°C, se Figur 26.



Figur 26. Graf över framledningens medeltemperatur i de sex mätpunkterna under perioden 2005-11-01 till 2008-11-01. 841 mätpunkter är jämnt fördelade över perioden.

För returledningen har temperaturintervallet valts mellan 37-47°C, se Figur 27.



Figur 27. Graf över returledningens medeltemperatur i de sex mätpunkterna under perioden 2005-11-01 till 2008-11-01. 841 mätpunkter är jämnt fördelade över perioden.

Tabell 7. Densitet och volymitet för de givna temperaturintervallerna.[38]

Temperatur [°C]	Densitet [kg/m ³]	Volymitet [m ³ /kg]
95	961,7	0,001040
65	980,6	0,001020
47	989,4	0,001011
37	993,4	0,001007

Insatta värden från Tabell 7 i uttrycket för volymutvidgningskoefficienten ger följande:

$$\gamma_{65-95^{\circ}\text{C}} = \frac{v(t_{\max}) - v(t_{\min})}{v(t_{\min})} \cdot \frac{1}{t_{\max} - t_{\min}} = \frac{0,001040 - 0,001020}{0,001020} \cdot \frac{1}{95 - 65} = 0,0006537 \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \quad (20)$$

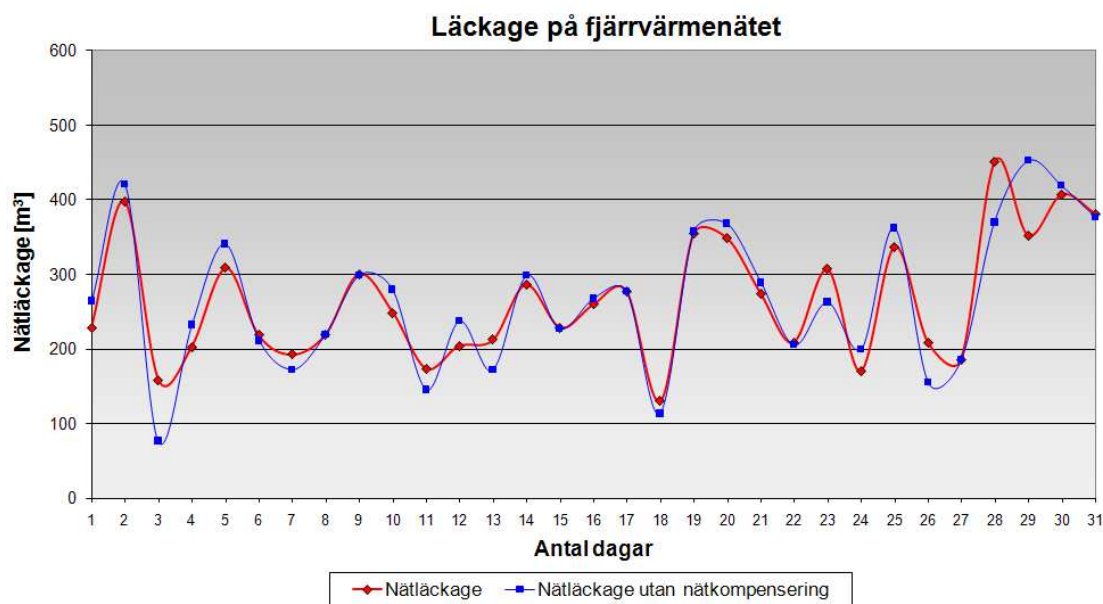
$$\gamma_{37-47^{\circ}\text{C}} = \frac{v(t_{\max}) - v(t_{\min})}{v(t_{\min})} \cdot \frac{1}{t_{\max} - t_{\min}} = \frac{0,001011 - 0,001007}{0,001007} \cdot \frac{1}{47 - 37} = 0,0004011 \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \quad (21)$$

Nätkompenseringens utfall

Formeln för beräkning av vattnets volymfluktuationer som har sitt ursprung i skiftande temperaturer kan skrivas som:

$$\Delta V_{\text{nät}} = \Delta T_{\text{Framledning,medel}} \cdot \gamma_{65-95^{\circ}\text{C}} \cdot V_{\text{Framledning}} + \Delta T_{\text{Returledning,medel}} \cdot \gamma_{37-47^{\circ}\text{C}} \cdot V_{\text{Returledning}} \quad (22)$$

I Figur 28 kan fjärrvärmenätets läckage under oktober månad följas. I diagrammet finns två grafer där fjärrvärmenätets läckage kan följas med och utan nätkompensering. Den röda grafen beskriver nätläckaget med nätkompensering och den grafen är följksamare än grafen utan nätkompensering.



Figur 28. Fjärrvärmenätets läckage under oktober med och utan nätkompensering.

7.4 Övriga vattenposter

7.4.1. Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket

Vattenmätaren med AKS-numret 01RZ10Q001A registrerar hur mycket dejonat som produceras i Kraftvärmeverket. Vattenmätaren är kopplad till processdatabasen.

7.4.2 Dejonatproduktion i Block 5

Volymen dejonat som produceras i den nya anläggningen i Block 5 registreras av vattenmätaren med AKS-numret 03RZ10F001. I processdatabasen visar den dock dejonatproduktionen med en tiopotens fel. Dejonatproduktionen är i själva verket en faktor 10 högre än vad som visas i processdatabasen.

7.4.3 Ångleverans

Ångan som produceras i anläggningarna överförs till kunderna via ångledningar. Den ånga som levereras till kunderna registreras av ångmätare, se Tabell 8.

Tabell 8. Ångmätare som registrerar den ånga som levereras till kunderna.

Ångmätare hos kund	AKS- nummer	Enhet
Akademiska sjukhuset	20RD00F001_INT	ton
Fresenius	15RD20F001_INT	ton
Johan Hansson, lilla mätaren	18RD00F002_INT	ton
Johan Hansson, stora mätaren	18RD00F001_INT	ton
Odal, lilla mätaren (UC2)	19RD20F002_INT	ton
Odal, lilla mätaren (UC3)	19RD30F002_INT	ton
Odal, stora mätaren (UC2)	19RD20F001_INT	ton
Odal, stora mätaren (UC3)	19RD30F001_INT	ton
P2	12RD30F001_INT	ton
Pharmacia C7	12RD35F001_INT	ton
Pharmacia Fyrislund	15RD00F001_INT	ton
Slotts, lilla mätaren	22RD10F001_INT	ton
Slotts, stora mätaren	22RD10F002_INT	ton

7.4.4 Direkt ånga

Direkt ånga är den ånga som används direkt i processen, den räknas ut som skillnaden mellan levererad ånga och återfört kondensat.

7.4.5 Verkens egenförbrukning

Verkens egenförbrukning beräknas enligt följande:

Verkens egenförbrukning = Dejonatproduktion i Kraftvärmeverket och Block 5 + vatten från totalavsaltningstillföret, etapp 4 - levererad ånga – fyllning till expansionskärl 1

7.4.6 Fjärrvärmenätets läckage

Fjärrvärmenätets läckage beräknas enligt följande:

Fjärrvärmenätets läckage = Tillfört vatten till fjärrvärmenätet – bortfört vatten från fjärrvärmenätet ± volymskillnad i kärl

8 RESULTAT

Resultatet av detta examensarbete är den framtagna beräkningsmodellen, se Figur 29. I den kan fjärrvärmenätets läckage och verkens egenförbrukning följas dygn för dygn. Inläsning av data från processdatabasen sker automatiskt med hjälp av ActiveFactory. Data läses in från 44 mätare, vilka kan ses i bilaga 3 med deras AKS- nummer. Inläsningen sker vid midnatt varje dygn och jämförs med värdet ett dygn tidigare. Detta görs för att kunna se vad som hänt under dygnet. De beräknade värdena har delats upp i fyra kategorier för att göra det hela mer överskådligt. De tre första kategorierna är för beräkning av nätläckaget: tillförsel av fjärrvärmevatten, bortförsel av fjärrvärmevatten och volymskillnad i kärl. Den fjärde kategorin är övrigt och under denna sker beräkningar för att i sin tur kunna beräkna verkens egenförbrukning och den mängd ånga som används direkt i processen.

Vatten tillförs fjärrvärmenätet genom fyllning från matarvattentankarna vid Bolandsverket till expansionskärl 1, fyllning från Kraftvärmeverket och återfört kondensat. För att räkna ut den volym vatten som fyllts på fjärrvärmenätet under dygnet, tas skillnaden mellan mätarställningen vid midnatt och samma tid dygnet tidigare. Samma tillvägagångssätt har använts för de tre fyllnadsmetoderna av fjärrvärmenätet.

Under kategorin bortförsel av fjärrvärmevatten finns sex förbrukningsposter: totalavsaltningfiltret, fyllning av fjärrkylanätet, fyllning av kulvert, Husbyborg, övrigt och en schablon. Vatten som bortförs via totalavsaltningfiltret och genom fyllning av fjärrkylanätet beräknas som tidigare. Fyllning av fjärrkylanätet som sker med den automatiska fyllningen läses in automatiskt. Däremot måste fyllning som skett med nödfyllningen rapporteras in manuellt varje månad och det skrivs in under övrigt. Detta på grund av att nödfyllningen inte är kopplad till processdatabasen. Vatten som används till våtkonservering av pannorna i Husbyborg och fyllning av kulvert fylls in manuellt vid inrapportering. Under posten övrigt kan vatten som används vid provtryckningar och andra arbeten skrivas in. Schablonens storlek är 500 m³ per vecka ~ 71 m³ per dag. Den innefattar all annan bortförsel av fjärrvärmevatten. Den volym fjärrvärmevatten som används till urean kan följas dygnsvis men den är inbakad i schablonens 71 m³ per dag som tidigare.

Under kategorin volymskillnad i kärl finns: hetvattenackumulatören, expansionskärl 1, expansionskärl 2 och temperaturkompensering av fjärrvärmenätet. Volymskillnaden i kärlet som är kopplade till fjärrvärmenätet räknas ut genom att ta nivåskillnaden mellan midnatt och samma tid dygnet tidigare och multiplicera det med kärlets area.

Under kategorin övriga vattenposter finns: dejonatproduktion i Kraftvärmeverket, dejonatproduktion i Block 5, ångleverans, direkt ånga och verkens egenförbrukning.

En del vattenmätare nollställs efter ett bestämt antal kubikmeter. Det blir då fel i beräkningen som måste åtgärdas manuellt. För att slippa detta kan en if- sats matas in i dessa kolumner. Mätaren för totalavsaltningfiltret och dejonatproduktionen i Kraftvärmeverket nollställs bägge vid 10000 m³. För dessa har en if- sats lagts in.

Tillförsel av fjärrvärmen				Bortförsel av fjärrvärmen				Volymskillnad i karl				Övriga vattenposter								
Oktober	Beräknat nätäckage	Fyllning exp. karl i	Fyllning från KVV	Äterfört kondensat	Totala salt- ningsfilter	Fyllning fjärrkyla	Sehållon Urea	Fyllning Övrigt	Fyllning kuvert	Husby- borg	Övrigt	Differens i HV-ack	Differens exp. 1	Differens i exp. 2	Nätkomp- ensering	Dejonat KVV	Dejonat Block 5	Äng- leverans	Direkt- änya	Egenför- brukning
1	228	0	0	439	9	0	19	52				131	-42	5	-36	453	95	453	14	104
2	398	13	0	507	1	0	8	63				62	-31	-4	-23	548	97	527	20	107
3	159	0	0	421	1	0	10	61	31			148	92	1	82	467	98	431	10	135
4	202	0	0	272	1	0	8	63	10			16	-56	-3	-30	290	91	256	-16	126
5	308	0	0	285	1	0	10	61	2			-111	-24	5	-32	313	100	270	-15	144
6	218	0	0	583	1	0	17	54	17			279	5	-1	7	599	96	627	44	69
7	193	0	0	435	1	0	0	71				193	-6	4	20	478	104	450	15	133
8	219	0	0	395	1	0	23	48				107	20	-23	0	496	59	400	5	156
9	300	0	0	472	1	0	19	52				45	27	29	1	700	18	499	27	220
10	249	0	0	413	1	0	19	52				82	-7	-14	-31	724	87	420	7	392
11	173	7	0	378	34	0	0	71				144	3	-12	28	438	100	384	6	180
12	204	0	0	326	395	0	8	63				-380	2	0	-34	21	141	312	-14	245
13	212	0	0	422	559	0	10	61				-421	25	16	41	52	87	432	10	266
14	286	0	0	443	358	0	8	63				-234	-52	2	-12	258	27	479	36	164
15	228	0	0	419	1	0	0	71				152	-8	-25	1	443	58	438	19	64
16	260	0	29	470	1	0	0	71				107	30	22	-7	475	94	484	14	86
17	278	0	104	279	1	9	0	71				119	-76	-19	1	343	96	319	40	121
18	130	0	0	219	1	0	40	31				-8	22	20	16	301	99	259	40	142
19	354	0	0	231	1	0	17	54				-250	68	-17	-3	280	95	277	46	99
20	349	0	0	332	1	0	10	61				-120	11	1	-19	438	99	472	140	66
21	275	17	0	314	1	0	17	54				-53	13	11	-14	588	46	468	154	150
22	209	0	0	245	1	0	27	44	500			-501	-13	-18	3	446	12	354	109	105
23	307	0	0	363	1	0	38	33				86	-54	-4	44	761	55	484	121	333
24	170	0	0	266	1	0	17	54				-37	27	4	-30	402	69	321	55	151
25	337	0	0	223	1	0	8	63				-214	-10	13	-25	246	106	264	41	89
26	209	121	0	211	1	0	10	61				103	10	-7	54	369	95	254	43	90
27	186	235	0	275	1	0	8	63	63			226	-8	32	0	638	98	426	151	75
28	452	54	0	362	1	0	8	63	200			-189	-23	-13	82	499	93	476	114	63
29	352	333	84	304	1	0	10	61	30			181	-23	9	-101	928	93	411	107	278
30	408	122	167	344	301	0	17	54				-197	53	-13	-11	455	99	476	132	256
31	381	3	35	236	1	35	0	71				-230	22	-1	4	400	96	346	110	147
Summa	8236	m ³																		
Medel	266	m ³																		

Figur 29. Bild av beräkningsmodellen.

9 MÖJLIGA FELKÄLLOR

Beräkningsmodellens resultat baseras på mätvärden från 44 olika mätare, se bilaga 3. Eftersom mätningar kan innehålla mindre mätfel så påverkas också det sammanlagda resultatet. Även om en mätare skulle mäta korrekt när den monterades så kan den med tiden börja mäta fel. Problemet är störst när en mätare visar fel utan att den slutar fungera helt. Då kan det vara svårt att upptäcka den trasiga mätaren och den kan visa fel en längre tid. Slutar mätaren fungera helt märks det att den är trasig och den byts ut eller repareras.

Nivåmätarna i hetvattenackumulatorn och i expansionskärln kalibreras vart tredje år så att de mäter korrekt. För beräkning av nätläcket spelar det ingen roll om dessa nivåmätare visar fel vattennivå, så länge som nivåändringen är korrekt. Ångmätare som mäter den levererade ångan till kund kalibreras varje år. Detta görs för att kunderna ska betala för rätt mängd ånga. De övriga mätarna har ingen kontinuerlig kalibrering. Kalibrering sker först när det finns misstanke om att en mätare visar fel. [39] Alltså kan mätfel finnas och påverka resultatet under en längre tid.

Schablonen på 500 m^3 i veckan ($\sim 71 \text{ m}^3$ per dag) är en grov uppskattning av den sammanlagda vattenförbrukningen för ett antal vattenförbrukare. Vattenförbrukningens verkliga värde skulle kunna vara 400 m^3 eller 600 m^3 i veckan. Det är det ingen som riktigt vet. Schablonens storlek är dessutom ett konstant värde trots att vattenförbrukningen är dynamisk. Det medför att nätläckagets oscillationer i beräkningsmodellen blir större.

10 DISKUSSION

Den beräkningsmodell som tagits fram i detta arbete har vävt samman de bästa sidorna hos de två tidigare vattenbalanserna, Urban Gustafssons mer kompletta vattenbalans med Åke Anderssons automatiska inläsning av data. Beräkningsmodellen har också kompletterats genom att lyfta in fyllning av fjärrkylanätet, fjärrvärmevatten som används till ureainsprutning och temperaturkompensering av fjärrvärmenätet. Beräkningsmodellen är utformad för att vara strukturerad och lättöverskådlig utan att göra avkall på detaljrikedomen.

Meningen med beräkningsmodellen är att den som ansvarar för nätläckaget ska bevaka resultatet varje dygn för att upptäcka plötsliga förändringar och avvikelser. Strukturen på modellen gör att det smidigt går att finna inom vilket område förändringarna har skett.

Med den framtagna beräkningsmodellen har den framtida uppföljningen av nätläckaget underlättats. I denna kan fjärrvärmenätets läckage följas dygnsvis vilket är positivt då förändringar snabbare kan upptäckas. Detta gör att åtgärder kan sättas in i ett tidigare skede. Snabbare åtgärder medför att fjärrvärmevatten och därmed också pengar kan sparas. För att inte tala om den lägre miljöbelastningen. Att följa nätläckaget dygnsvis gör också att en större överblick fås över processen, då de historiska händelserna kan följas mer noggrant. En annan fördel med beräkningsmodellen är den automatiska inläsningen och de automatiska beräkningarna. Detta sparar både tid och resurser. Dessutom minimeras den mänskliga faktorns påverkan, då manuella avläsningar och beräkningar undviks. Risken med en automatisk beräkningsmodell skulle kunna vara att intresset för nätläckaget minskar då mindre tid och engagemang spenderas med att ta fram siffror och utföra beräkningar.

Urban Gustafsson som gör den officiella vattenbalansen använder sig av en schablon på 500 m³ i veckan. Den motsvarar alla mindre poster där fjärrvärmevatten används, se kap 6.1.2. Det finns inga riktiga beräkningar bakom schablonens storlek. Det är mer ett godtyckligt värde, som har varit konstant sedan 1998. En plats där fjärrvärmevatten används har hittats som tidigare inte var känt av Urban Gustafsson. Det är vid ODAL där ledningskondensat kyls med vatten från fjärrvärmens returledning. Arbetsgruppen bestämde att det fjärrvärmevatten som används vid ODAL ska ingå i schablonens 500 m³ per vecka. Då denna egentligen ingått sedan tidigare utan att Urban Gustafsson känt till kylningen av kondensatet. Att bestämma mer exakt hur mycket fjärrvärmevatten schablonens alla förbrukare använder är svårt och tidskrävande. Det är dessutom ett värde som hela tiden förändras. Därför har schablonen lämnats orörd på 500 m³ i veckan, vilket är ungefär 71 m³ per dag.

För att få korrekt statistik och en korrekt bild över nätläckagets storlek är det viktigt att all användning av fjärrvärmevatten rapporteras till Urban Gustafsson på kemiavdelningen. Rapporteringen av använt fjärrvärmevatten har fungerat dåligt på vissa håll. Detta medför att oförklarliga toppar med högt nätläckage bildas. En förklaring till varför rapporteringen inte har fungerat är att det inte finns någon ansvarig på varje skift som ska rapportera den uppskattade volymen fjärrvärmevatten till Urban Gustafsson.

För att förbättra beräkningsmodellens resultat skulle schablonen kunna utvecklas. Det första steget skulle vara att införa automatisk inläsning av det fjärrvärmevatten som används till ureainsprutningen. Arbetet som skulle krävas är det är att reparera/ byta ut en vattenmätare och koppla den och tre andra vattenmätare till processdatabasen. Den exakta förbrukningen av fjärrvärmevatten som åtgår till ureainsprutningen kan mätas under ett år. Därefter kan ureainsprutningens medelförbrukning av fjärrvärmevatten lyftas ut ur schablonen. Resultatet blir en mindre schablon och ett större rörligt värde, detta speglar verkligheten bättre. Andra förslag till vattenförbrukare som kan kopplas till processdatabasen är hetgasgeneratoren och kylning av kondensatet vid ODAL. Kostnad för inkoppling av en mätare till processdatabasen är cirka 50000 kronor.[25]

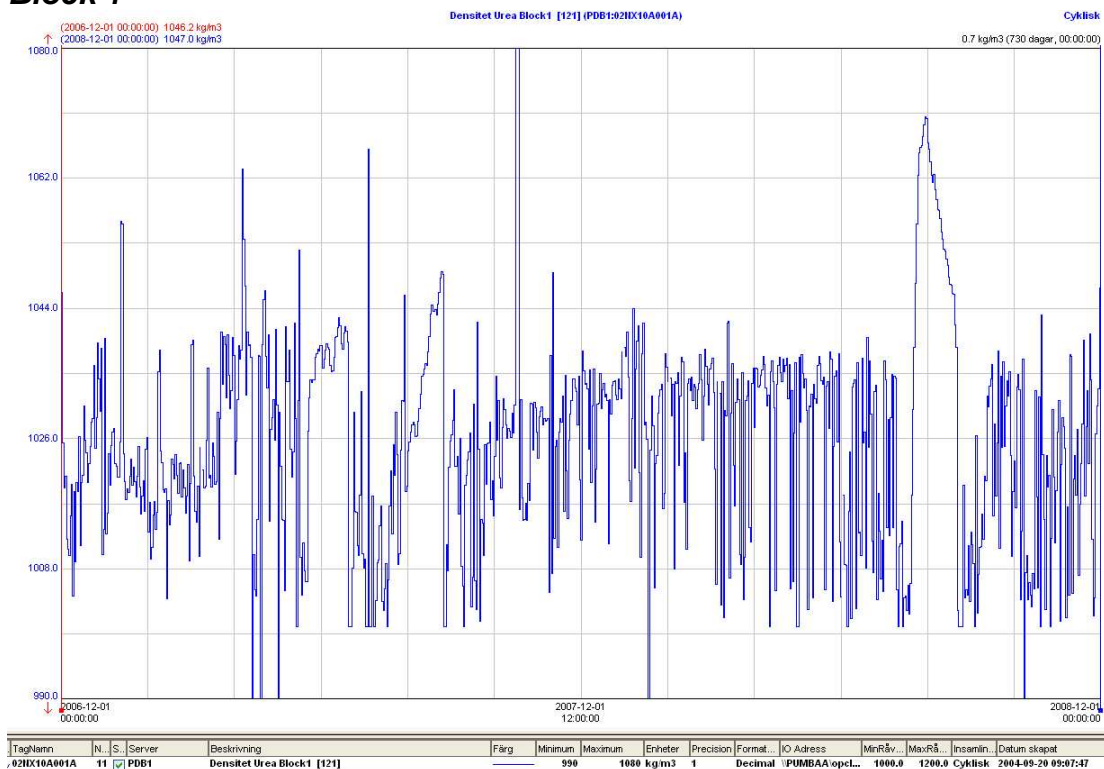
11 KÄLLFÖRTECKNING

1. Vattenfall (2001). Distributionsanläggningar.
<http://varme.vattenfall.se/uppsala/anlaggningar/distribution.asp> (2008-10-17)
2. Vattenfall (2007). Vattenfall Värme: Säkerhet, hälsa och miljö 2007.
http://www.vattenfall.se/www/vf_se/vf_se/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/196015vatt/815691omxv/819778milj/821834milj/821838fjxr/P02.pdf (2008-10-15)
3. Bjurling, Gun (2008). Framtida reinvesteringsbehov för Uppsalas fjärrvärmenät. Adrian Berg von Linde, Uppsala.
4. Karlsson, Anna (2008). Utredningsingenjör. Mailkontakt. (2008-12-01)
5. Svensk fjärrvärme (2008). Varför fjärrvärme?
<http://www.svenskfjarrvarme.se/index.php3?use=publisher&id=1875&lang=1> (2008-10-16)
6. Mohammadi, Majid (2008). Ingenjör. Muntlig källa. (2008-09-22)
7. Bjelvenmark, Lars (2008). Drifttekniker. Muntlig källa. (2008-12-8)
8. Aquawarm (1981). Fjärrvärmerör av koppar, korrosionshårdigt- lätt att lägga och enkelt att skarva. Blomquist Producentreklam 3007/Dahlberg & Co.
9. Olsson, Sven-Erik (2008). Drift- och underhållschef för distribution. Muntlig källa.
10. Wideco (2008). Artikel om övervakning med larmtråd.
<http://www.wideco.se/pdfarkiv/Wideco%20artikel.pdf> (2008-11-10)
11. HAMAFO Teknik AB (2008). Introduktion till läcksökning.
<http://www.hamafo.se/produkter.asp?kategori=14> (2008-11-12)
12. Vattenfall Värme Uppsala AB (2006). Beskrivning av kraftvärmeverket och bränsleproduktion.
<http://www.environdec.com/reg/107/Chapters/dokument/Beskrivning%20av%20KVV%20och%20br%C3%A4nsleproduktionen.pdf> (2008-10-20)
13. Härjedalens Miljöbränsle AB (2008). Om Härjedalens Miljöbränsle AB.
http://www.hmab.se/?p=om_hmab (2008-10-20)
14. Emanuelsson, Arne (2008). Driftingenjör. Muntlig källa, (2008-11-12)
15. Vattenfall AB (2008). Information om Uppsalas produktion av fjärrvärme.
http://www.vattenfall.se/www/vf_se/vf_se/506695fxret/507805fjxrr/636365biobr/636747uppsa/index.jsp (2008-10-21)
16. Rautio, Jonatan (2005). Stoftavskiljning vid förbränning i sodapanna på Kappa Kraftliner Piteå, examensarbete. Umeå Universitet. Umeå
17. Sollenberg, Hans (1999). Anläggningsfakta om avfallsförbränningsanläggningen på Vattenfall Värme Uppsala.
18. Vattenfall AB. Broschyr. Uppsala Block 5 - Teknik och fakta.
19. Vattenfall AB (2004). Information om avfallsförbränningen.
<http://varme.vattenfall.se/uppsala/anlaggningar/avfallforbranning.asp> (2008-11-21)
20. Vattenfall AB (2001). Information om Bolandsverket.
<http://varme.vattenfall.se/uppsala/anlaggningar/bolandsverket.asp> (2008-11-14)
21. Vattenfall AB (2001). Information om Husbyborgsanläggningen.
<http://varme.vattenfall.se/uppsala/anlaggningar/husbyborg.asp> (2008-11-18)
22. Vattenfall AB (2001). Information om Värmepumpanläggningen.
<http://varme.vattenfall.se/uppsala/anlaggningar/varmepump.asp> (2008-12-02)
23. Nilsson, Mattias (2009). Drifttekniker. Muntlig källa. (2009-01-29)

24. Andersson, Gunnar (1980). Information om hetvattenackumulatort på Vattenfall Värme Uppsala.
25. Hansson, Roland (2008). Underhållsingenjör. Muntlig källa. (2008-10-07)
26. Karlsson, Kjell (2008). Anläggningsingenjör. Muntlig källa. (2008-11-11)
27. Johansson, Sven (2008). Driftingenjör. Muntlig källa. (2008-10-30)
28. Gustavsson, Tommy (2008). Chef, driftingenjör. Muntlig källa. (2008-09-10)
29. Gustafsson, Urban (2008). Kemiingenjör. Muntlig källa. (2008-11-21)
30. Forsberg, Roland (2008). Kemichef/Gruppchef. Muntlig källa. (2008-09-10)
31. Larsson, Andreas (2008). Utredningsingenjör. Muntlig källa. (2008-12-11)
32. Arkivet på fjärde våningen Vattenfall Värme Uppsala AB (2008). Pärm 00-G-15, ritningsnummer 2.
33. Andersson, Johnny (2008). Styr- och reglertekniker. Muntlig källa. (2008-12-11)
34. Arkivet på fjärde våningen Vattenfall Värme Uppsala AB (2008). Pärm 01-B-11, ritningsnummer A1-003731.
35. Arkivet på fjärde våningen Vattenfall Värme Uppsala AB (2008). Pärm 00-B13, ritningsnummer 139-5A.
36. Uppsala kommun (2008). Turistkarta.
<http://kartor.uppsala.se/SCRIPTS/hsrun.exe/extwebb/int/MapXtreme.htx;start=PrintFrameset?cmd=start&theme=TURIST> (2008-11-23)
37. Malmö Högskola (2008). Värme och strömningslära.
http://www.mah.se/upload/TS/Utbildning/Kurser/Energiteknik/EM7960_Energio_miljo/F1-4_Energiomvandling.doc (2008-10-15)
38. Maidment, David R. (1992). Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York
39. Helander, Thomas (2008). Anläggningsingenjör. Muntlig källa. (2008-12-04)

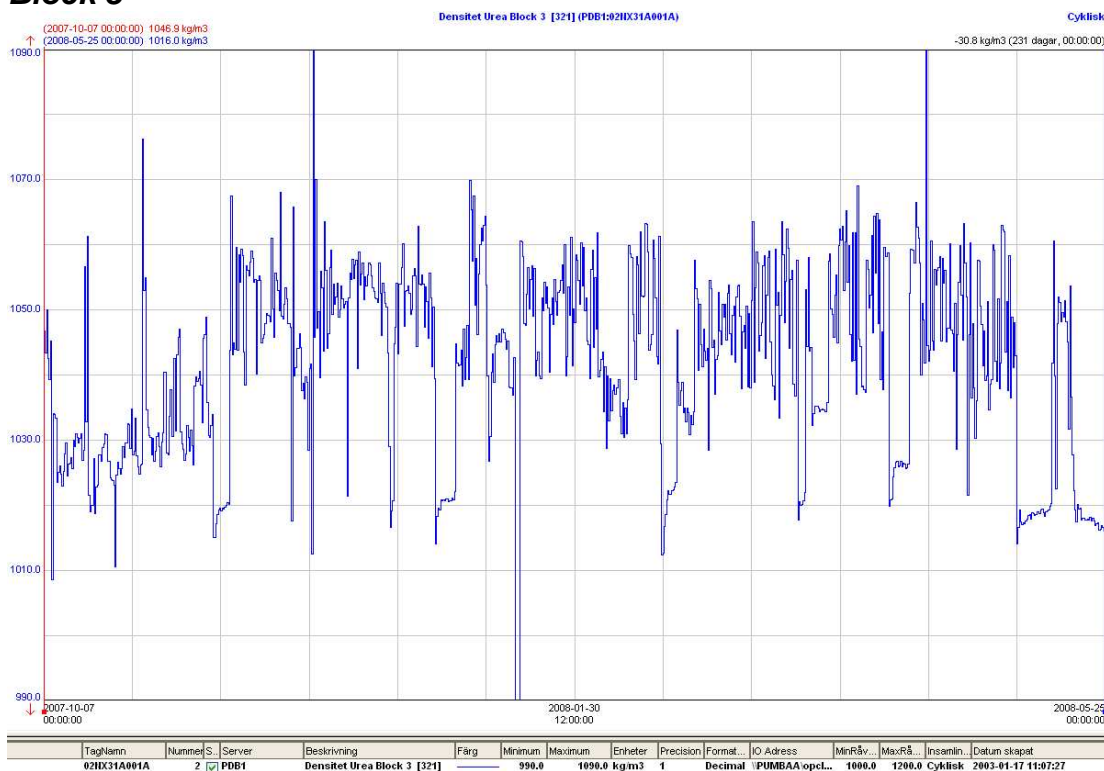
BILAGA 1: GRAFER ÖVER UREANS DENSITET

Block 1



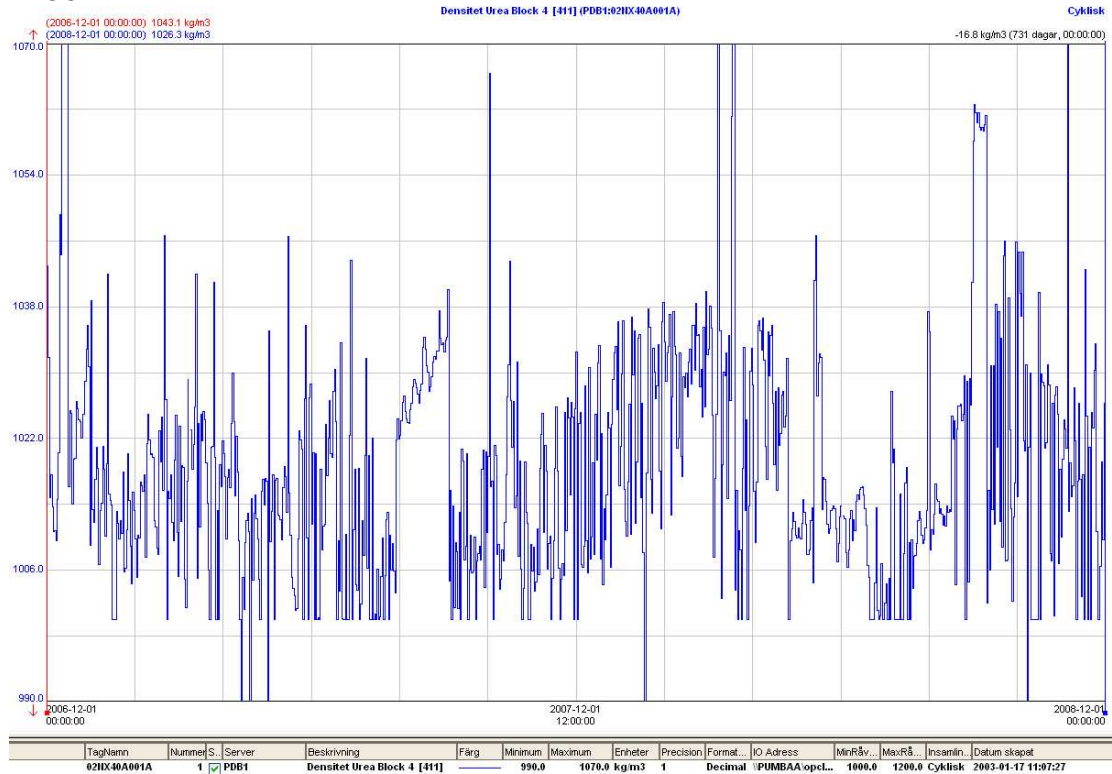
Figur 30. Graf över ureans densitet i Block 1 under perioden 061201-081201.

Block 3



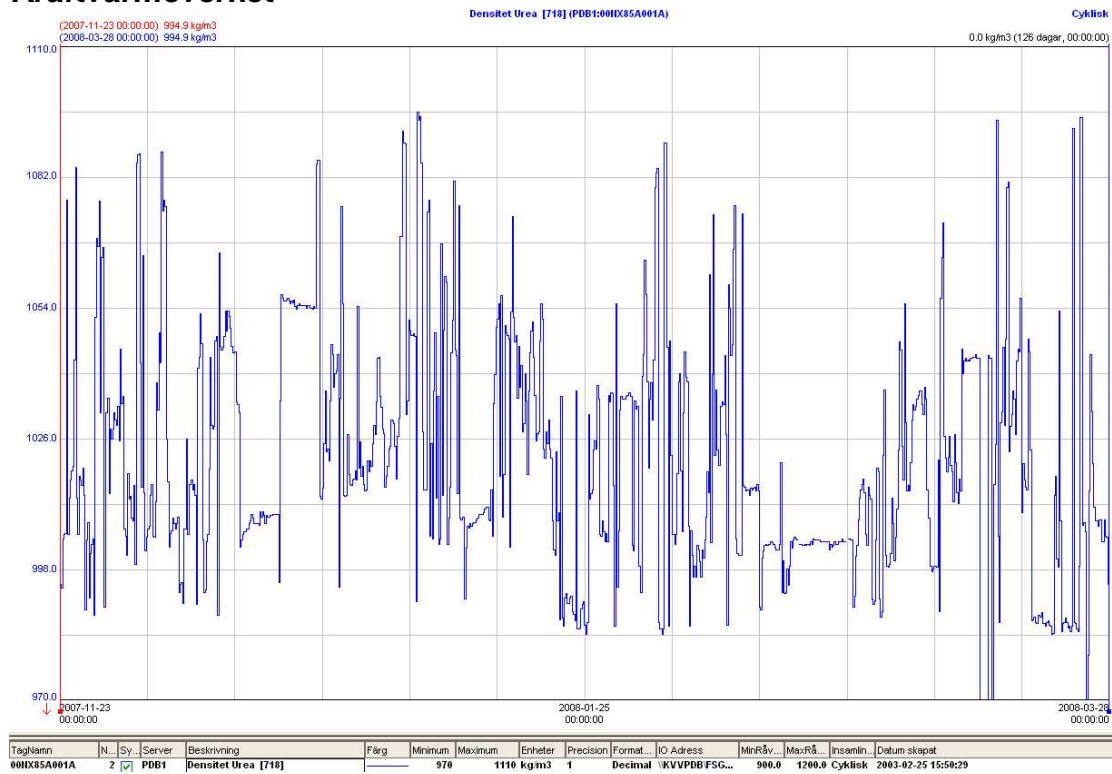
Figur 31. Graf över ureans densitet i Block 3 under perioden 071007-080525.

Block 4



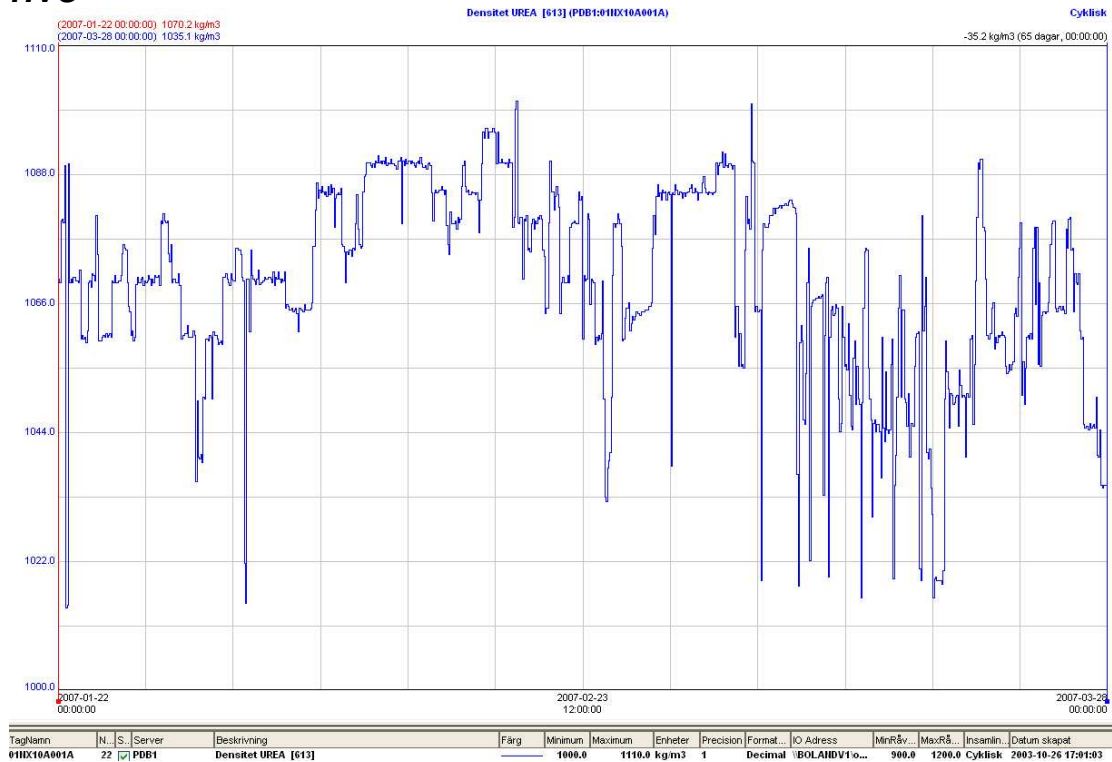
Figur 32. Graf över ureans densitet i Block 1 under perioden 061201-081201.

Kraftvärmeverket



Figur 33. Graf över ureans densitet i Kraftvärmeverket under perioden 071123-080328.

HVC



Figur 34. Graf över ureans densitet i HVC- pannen under perioden 070122-070328.

BILAGA 2: KYLNING AV LEDNINGSKONDENSAT VID ODAL

Tabell 9. Kylning av ledningskondensatet i kondensattanken, UC3, vid ODAL. Kylningen görs med fjärrvärmevatten från fjärrvärmenätets returledning.

<i>Datum</i>	<i>Mätarställning [m³]</i>	<i>Volym differens [m³]</i>	<i>Kondensatets temperatur [°C]</i>
2008-10-23	1346	-	90
2008-10-31	1459	113	90
2008-11-07	1563	104	112
2008-11-14	1662	99	100
2008-11-21	1741	79	98
2008-11-28	1830	89	100
2008-12-05	1893	63	98
2008-12-12	1945	52	95
	<i>Medel</i>	<i>86 m³</i>	

BILAGA 3: MÄTARE OCH DERAS AKS- NUMMER

Tabell 10. Tabell över de mätare som läses in i beräkningsmodellen och deras AKS- nummer.

Namn	AKS-nummer	Enhet
Fyllning Expansionskärl 1	01RL15F001A	m ³
Fyllning från KVV	00RM08F001_SUM/A_MV_L.PV_IN	m ³
Kondensat, Odal (kund- och ledningskondensat)	19RM00F001_INT	m ³
Kondensat, Akademiska	20RM00F001_INT	m ³
Kondensat, Akademiska kulvert	20RM10F001_INT	m ³
Kondensat, Johan Hansson	18RM00F001_INT	m ³
Kondensat, P2	12RM30F001_INT	m ³
Kondensat, Pharmacia C7	12RM36F001_INT	m ³
Kondensat, Pharmacia Fyrislund	15RM00F001_INT	m ³
Kondensat, Fresenius	21RM00F001_INT	m ³
Kondensat, Slotts	22RM10F001_INT	m ³
Totalavsaltningsfilter, etapp 4	01VB13Q001A	m ³
Påfyllning fjärrkylanät	08VC80Q001A	liter
Ureaproduktion av 35% _m , blandstation	30NX01Q001_IPVV	m ³
Hetvattenackumulator	00VQ00L001/A_MV_L.PV_IN	m
Expansionskärl 1	01VN00L001A	m
Expansionskärl 2	00VN00L002/A_MV_L.PV_IN	m
Framledning väster, Ackis	60VN2824T001A	Celcius
Returledning väster, Ackis	60VN2824T002A	Celcius
Framledning väster, Luthagen	60VN2513T001A	Celcius
Returledning väster, Luthagen	60VN2513T002A	Celcius
Framledning norr, Kvarngärdet	60VN1702T001A	Celcius
Returledning norr, Kvarngärdet	60VN1702T002A	Celcius
Framledning norr, Vitkålgatan	60VN4145_3T001A	Celcius
Returledning norr, Vitkålgatan	60VN4145_3T002A	Celcius
Framledning öster, Ulleråker	60VN5522T001A	Celcius
Returledning öster, Ulleråker	60VN5522T002A	Celcius
Framledning öster, Gottsunda	60VN3445T001A	Celcius
Returledning öster, Gottsunda	60VN3445T002A	Celcius
Dejonatproduktion, Boland	01RZ10Q001A	m ³
Dejonatproduktion, Block 5	03RZ09F002_IPVV	10 m ³
Ångleverans, Akademiska	20RD00F001_INT	ton
Ångleverans, Fresenius	15RD20F001_INT	ton
Ångleverans, Johan Hansson, lilla mätaren	18RD00F002_INT	ton
Ångleverans, Johan Hansson, stora mätaren	18RD00F001_INT	ton
Ångleverans, Odal, lilla mätaren (UC2)	19RD20F002_INT	ton
Ångleverans, Odal, lilla mätaren (UC3)	19RD30F002_INT	ton
Ångleverans, Odal, stora mätaren (UC2)	19RD20F001_INT	ton
Ångleverans, Odal, stora mätaren (UC3)	19RD30F001_INT	ton
Ångleverans, P2	12RD30F001_INT	ton
Ångleverans, Pharmacia C7	12RD35F001_INT	ton
Ångleverans, Pharmacia Fyrislund	15RD00F001_INT	ton
Ångleverans, Slotts, lilla mätaren	22RD10F001_INT	ton
Ångleverans, Slotts, stora mätaren	22RD10F002_INT	ton

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000